

Tri Widodo



# ***FISIKA***

## **UNTUK SMA/MA**



**PUSAT PERBUKUAN**  
Departemen Pendidikan Nasional



Tri Widodo

# FISIKA

untuk

# SMA/MA

Kelas X



PUSAT PERBUKUAN  
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional  
Dilindungi Undang-undang

**FISIKA**  
**untuk SMA/MA Kelas X**

Penyusun : Tri Widodo  
Editor : Widha Sunarno  
: Arief Satiyo Nugroho  
Illustrator : Pandu  
: Budi S  
Ukuran : 17,6 x 25 cm

530.07  
TRI TRI Widodo  
f Fisika : untuk SMA dan MA Kelas X / penyusun, Tri Widodo  
editor ; Widha Sunarno, Arief Satiyo Nugroho ; Pandu, Budi S.  
. -- Jakarta : Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional,  
2009.  
vi, 186 hlm, illus.; 25 cm.  
  
Bibliografi : hlm. 182  
Indeks  
ISBN 978-979-068-802-5 (no.jilid lengkap)  
ISBN 978-979-068-804-9  
  
1. Fisika-Studi dan Pengajaran I. Judul  
II. Widha Sunarno III. Arief Satiyo Nugroho IV. Pandu  
V. Budi S.

Hak Cipta Buku ini dibeli oleh Departemen Pendidikan Nasional  
Dari Penerbit MEFI CARAKA

Diterbitkan oleh Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional  
Tahun 2009

Diperbanyak oleh ....

# KATA SAMBUTAN

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Departemen Pendidikan Nasional, pada tahun 2009, telah membeli hak cipta buku teks pelajaran ini dari penulis/penerbit untuk disebarluaskan kepada masyarakat melalui situs internet (*website*) Jaringan Pendidikan Nasional.

Buku teks pelajaran ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan dan telah ditetapkan sebagai buku teks pelajaran yang memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 69 Tahun 2008 tanggal 7 November Juni 2008.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para penulis/penerbit yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para siswa dan guru di seluruh Indonesia.

Buku-buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*down load*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun, untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Diharapkan bahwa buku teks pelajaran ini akan lebih mudah diakses sehingga siswa dan guru di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri dapat memanfaatkan sumber belajar ini.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para siswa kami ucapkan selamat belajar dan manfaatkanlah buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta, Juni 2009

Kepala Pusat Perbukuan

# KATA PENGANTAR

Perkembangan Kurikulum saat ini lebih menitik beratkan pada proses pembekalan kecakapan hidup (life skill) pada para peserta didik agar mempunyai kemandirian dan daya saing di era globalisasi dunia. Dengan demikian perlu ada perubahan paradigma tentang konsep pelaksanaan belajar mengajar di sekolah.

Buku materi tentunya bukan sekadar buku wacana, namun lebih diti-tikberatkan sebagai sarana memproses peserta didik dalam menemukan konsep dasar, menganalisis teori-teori dasar, serta tempat pembekalan life skill, sehingga diharapkan para peserta didik dapat mengimplementasikan dalam kehidupan sehari-hari.

Syukur alhamdulillah kami penyusun buku materi Fisika untuk SMA/MA kelas X dapat menuangkan ide-ide tersebut di atas ke dalam buku ini.

Buku ini kami susun dengan mempertimbangkan keterkaitan antara sains, lingkungan, teknologi, dan masyarakat (salingtemas) dalam penya-jian yang berimbang. Konsep dan subkonsep kami sajikan dengan bahasa yang sederhana disertai contoh soal yang memudahkan siswa memahami konsep yang diberikan. Kami berikan pula kegiatan berupa tugas diskusi dan atau praktikum agar siswa dapat mencoba dan mempraktikkan konsep fisika dalam kehidupan. Selain itu kami berikan soal-soal uji pemahaman pada tiap subkonsep, uji kompetensi pada tiap akhir bab, dan ulangan akhir semester. Soal-soal uji pemahaman kami berikan sebagai *refleksi* untuk mengukur kemampuan siswa secara mandiri pada setiap subkonsep yang dibahas

Kami menyadari bahwa masih adanya kekurangan dalam penuangan materi dalam buku ini, untuk itu saran dan kritik yang bersifat membangun dari para pemakai buku ini sangat kami harapkan. Akhirnya, semoga buku ini benar-benar dapat bermanfaat bagi peserta didik. Amiin.

Surakarta, Desember 2006

Penulis

# DAFTAR ISI

Kata Sambutan .....	iii
Kata Pengantar .....	iv
Daftar isi .....	v
<b>BAB 1 : BESARAN DAN SATUAN .....</b>	<b>1</b>
A. Mengenal Alat Ukur.....	2
B. Notasi Ilmiah .....	7
C. Pengukuran .....	8
D. Kesalahan dalam Pengukuran.....	11
E. Besaran Pokok dan Besaran Turunan .....	12
F. Dimensi suatu Besaran .....	14
G. Penjumlahan dan Perkalian Dua Buah Vektor .....	15
Rangkuman .....	25
Uji Kompetensi : .....	26
<b>BAB 2 : GERAK .....</b>	<b>29</b>
A. Gerak Lurus Beraturan dan Gerak Lurus Berubah Beraturan	30
B. Gerak Melingkar .....	38
C. Hukum Newton pada Dinamika Partikel .....	53
D. Gerak Vertikal .....	63
Rangkuman .....	66
Uji Kompetensi .....	68
<b>ULANGAN SEMESTER I .....</b>	<b>73</b>
<b>BAB 3 : ALAT OPTIK .....</b>	<b>77</b>
A. Mata dan Kaca Mata .....	78
B. Kamera .....	80
C. Lup .....	80
D. Mikroskop .....	82
E. Teropong .....	84
Rangkuman .....	88
Uji Kompetensi .....	89

<b>BAB 4 : SUHU DAN KALOR .....</b>	<b>93</b>
A. Suhu .....	94
B. Kalor .....	98
C. Pemuaian .....	107
D. Perpindahan Kalor.....	114
E. Mencegah Perpindahan Kalor .....	120
Rangkuman .....	122
Uji Kompetensi .....	124
 <b>BAB 5 : LISTRIK DINAMIS .....</b>	 <b>127</b>
A. Arus Listrik dan Pengukurannya .....	128
B. Hukum Ohm pada Penghambat Tetap .....	133
C. Arus Listrik dalam Rangkaian Tertutup .....	135
D. Hambatan Sepotong Kawat Penghantar .....	138
E. Rangkaian Listrik .....	140
F. Rangkaian Hambatan .....	141
G. Gabungan Sumber Tegangan Listrik .....	146
H. Hukum II Kirchoff.....	147
I. Sumber Arus .....	149
J. Energi dan Daya Listrik .....	152
Rangkuman .....	154
Uji Kompetensi .....	156
 <b>BAB 6 : GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK .....</b>	 <b>159</b>
A. Spektrum gelombang elektromagnetik.....	160
B. Gelombang elektromagnetik dalam kehidupan .....	164
Rangkuman .....	169
Uji Kompetensi .....	170
 <b>ULANGAN SEMESTER II .....</b>	 <b>172</b>
<b>GLOSARIUM .....</b>	<b>176</b>
 <b>INDEKS .....</b>	 <b>179</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>182</b>
<b>LAMPIRAN KUNCI JAWABAN .....</b>	<b>183</b>



# 1

## BESARAN DAN SATUAN

Setelah mempelajari materi "Besaran dan Satuan" diharapkan Anda dapat menggunakan alat ukur besaran panjang, massa, dan waktu dengan beberapa jenis alat ukur serta mampu mengukur besaran tersebut dengan mempertimbangkan ketelitian dan ketepatan. Selain itu diharapkan Anda mampu menjumlahkan dua vektor atau lebih secara grafis dan analisis serta mampu menguraikan dan mengalikan dua buah vektor.





Selamat, Anda sekarang telah berada pada jenjang pendidikan yang lebih tinggi. Sebelumnya, Anda telah banyak mempelajari gejala-gejala Fisika secara kualitatif. Saat ini, Anda akan mempelajari Fisika secara kualitatif dan kuantitatif.

Fisika adalah ilmu yang mempelajari tentang materi (zat) dan energi. Fisika menyatakan keteraturan hubungan besaran-besaran fisik melalui hukum-hukum Fisika. Untuk keperluan itu dibutuhkan pendefinisian secara tepat dan pengukuran secara teliti.

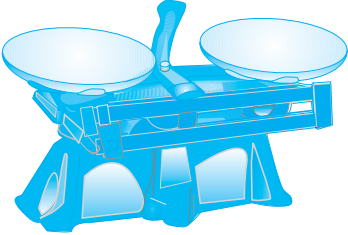
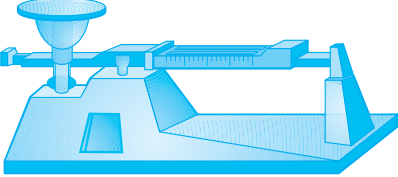
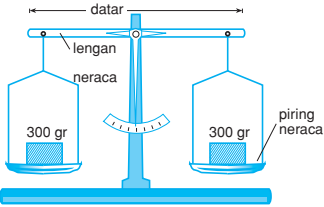
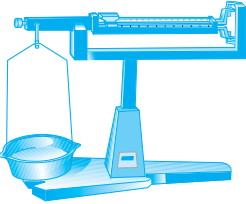


A. MENGENAL ALAT-ALAT UKUR

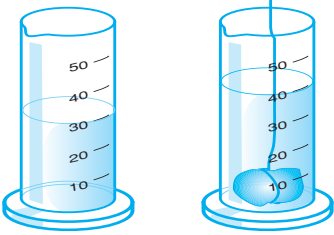
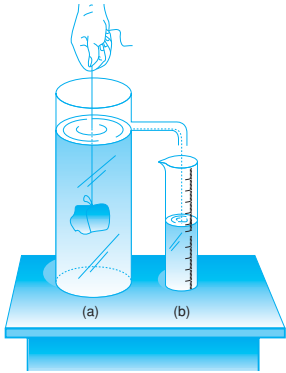
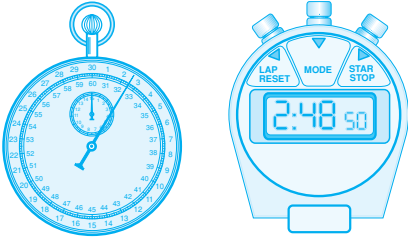
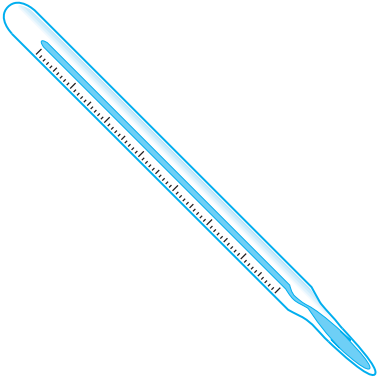
Dalam kegiatan Fisika tentu tidak terlepas dari kegiatan pengukuran. Kegiatan pengukuran memerlukan alat ukur yang sesuai. Sebelum ini, Anda telah mengenal beberapa alat ukur. Perhatikan gambar alat-alat ukur berikut, kemudian sebutkan nama dan kegunaan dari alat ukur tersebut.

Kegiatan 1.1

Sebutkan nama alat dan fungsi alat dari gambar alat berikut!

No.	Gambar alat	Nama alat	Fungsi alat
1.			
2.			
3.			
4.			

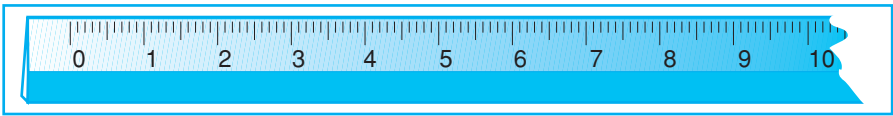
No.	Gambar alat	Nama alat	Fungsi alat
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			

No.	Gambar alat	Nama alat	Fungsi alat
11.			
12.			
13.			
14.			

Alat Ukur Panjang

Alat ukur panjang baku dapat berupa mistar, rol meter, jangka sorong, atau mikrometer skrup.

1. Mistar

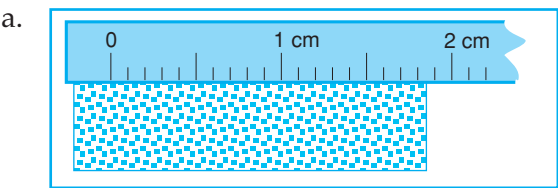


Gambar 1.1 Mistar

Mistar adalah alat ukur panjang yang mempunyai ketelitian setengah dari skala terkecil

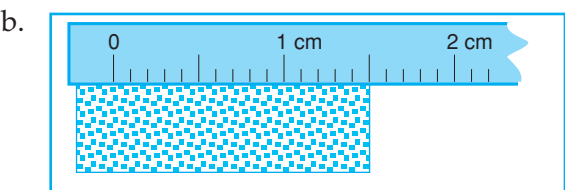
Pada skala centimeter, 1 cm dibagi menjadi 10 skala, sehingga 1 skala panjangnya 0,1 cm atau 1 mm. Sehingga ketelitian mistar adalah 0,5 mm.

Contoh:



Hasil pengukuran

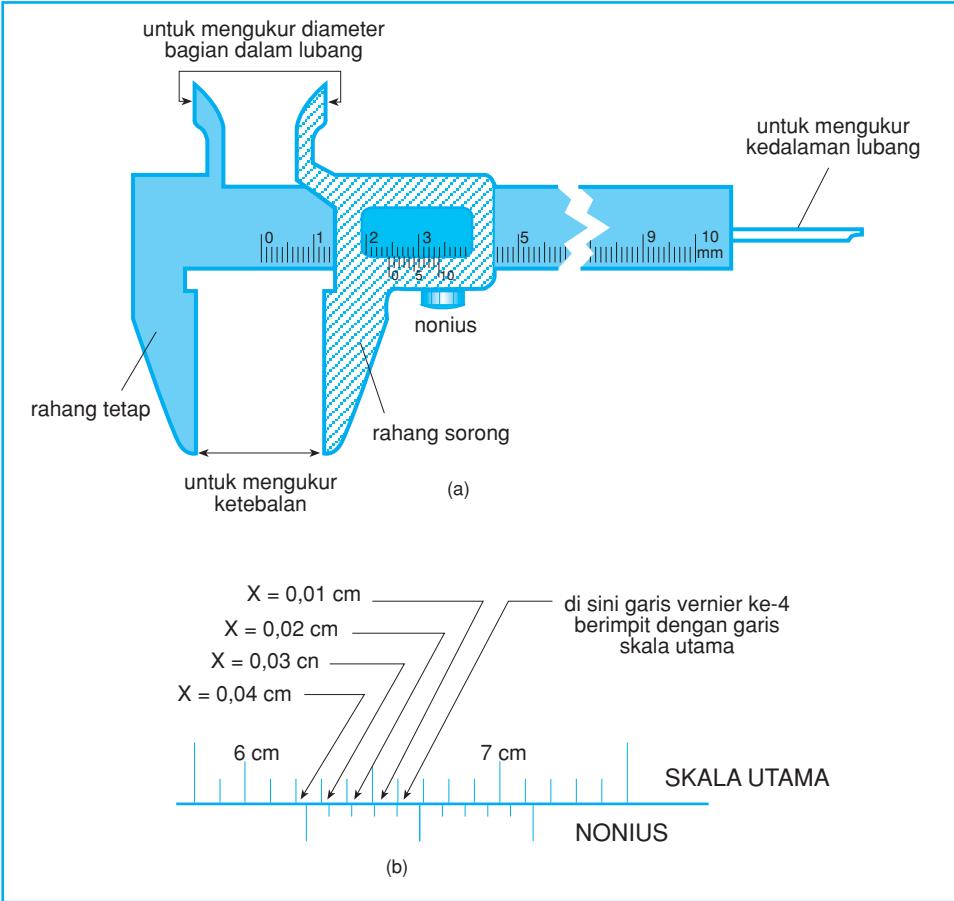
• Pasti benar	18 mm	
• Taksiran	0,5 mm	+
<hr/>		
Hasil pengukuran	18,5 mm	= 1,85 cm



Hasil pengukuran

• Pasti benar	15 mm	
• Taksiran	0,0 mm	+
<hr/>		
Hasil pengukuran	15,0 mm	= 1,50 cm

# 2. Jangka Sorong

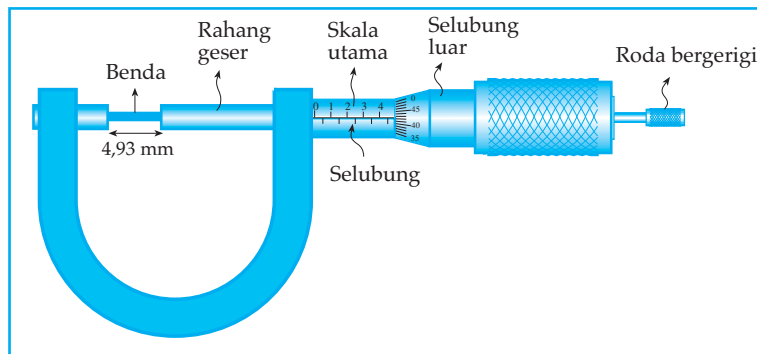


Gambar 1.2 Jangka sorong dengan skala nonius dan skala utama

Gambar 1.2 (a) bagian-bagian jangka sorong (b) penunjukkan skala jangka sorong. Panjang benda diukur menggunakan jangka sorong ditunjukkan seperti gambar 1.2 (b). Pada gambar di atas skala utama (Sku) 62 skala. Skala nonius (Skn) 4 skala.

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang benda} &= \text{sku} \cdot 1 \text{ mm} + \text{skn} \cdot 0,1 \text{ mm} \\
 &= 62 \cdot 1 \text{ mm} + 4 \cdot 0,1 \\
 &= 62 \text{ mm} + 0,4 \text{ mm} \\
 &= 62,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

### 3. Mikrometer Skrop



Gambar 1.3 Mikrometer Skrop memiliki skala utama dan nonius

Selain jangka sorong, mikrometer sekrup juga mempunyai skala utama dan skala nonius. Bila selubung luar diputar satu kali, rahang geser dan selubung luar maju atau mundur 0,5 mm. Karena selubung luar memiliki 50 skala, maka skala nonius memiliki panjang  $0,5/50 = 0,01$  mm.

Jadi 1 skala utama (sku) mikrometer = 0,5 mm dan 1 skala nonius (skn) mikrometer sekrup = 0,01 mm.

Pada gambar 1.3 di atas penunjukkan sku = 9 skala skn = 43

Panjang benda yang ukur = (sku . 0,5 + skn . 0,01) mm.

$$= (9 . 0,5 + 43 . 0,01) \text{ mm}$$

$$= (4,5 + 0,43) \text{ mm}$$

$$= 4,93 \text{ mm}$$

### B. NOTASI ILMIAH

Permasalahan dalam fisika kadang melibatkan angka yang terlalu besar dan kadang terlalu kecil.

Contohnya kecepatan cahaya kurang lebih sebesar:

$$c = 300.000.000 \text{ m/s}$$

muatan elektron kurang lebih sebesar:

$$e = 0,00000000000000000016 \text{ coulomb.}$$

Jika ditulis seperti di atas memakan tempat/tidak efisien. Untuk mengatasi masalah tersebut kita dapat menggunakan notasi ilmiah atau notasi baku.

Dalam notasi ilmiah, hasil pengukuran dapat dinyatakan:

$$a \times 10^n ; -10 < a < 10 \text{ dan } n = \text{bilangan bulat}$$

Jika ditulis dengan notasi ilmiah kedua contoh di atas menjadi:

$$c = 3 . 10^8 \text{ m/s dan } e = 1,6 . 10^{-19} \text{ coulomb.}$$

## C. PENGUKURAN

Pengukuran adalah sebuah kegiatan menggunakan alat dengan tujuan mengetahui nilai suatu besaran.

Pengukuran dibedakan menjadi 2, yaitu pengukuran langsung dan pengukuran tidak langsung.

1. Pengukuran langsung, membandingkan nilai besaran yang diukur dengan besaran standar yang diterima sebagai satuan.
2. Pengukuran tidak langsung, mengukur suatu besaran dengan cara mengukur besaran lain.

Semua angka yang diperoleh dari hasil pengukuran dinamakan angka penting atau angka tidak eksak.

Angka penting terdiri atas angka pasti dan angka ragu-ragu atau taksiran. Angka 1; 8 dan 1; 5 pada contoh penggunaan mistar merupakan angka pasti karena ditunjukkan oleh skala. Sedangkan angka 5 dan 0 disebut angka ragu-ragu karena hasil menaksir.

### 1. Aturan Penulisan Angka Penting

Aturan-aturan angka penting.

- a. **Semua angka bukan nol adalah angka penting**

Contoh:

47,5 cm memiliki 3 angka penting.

41,27 gram memiliki 4 angka penting.

- b. **Angka nol yang diapit angka bukan nol termasuk angka penting**

Contoh:

1,023 gram memiliki 4 angka penting.

205 km memiliki 3 angka penting.

- c. **Angka nol yang terletak di sebelah kiri angka bukan nol tidak termasuk angka penting**

Contoh:

0,022 gram memiliki 2 angka penting.

0,105 gram memiliki 3 angka penting.

- d. **Angka nol di sebelah kanan angka bukan nol bukan angka penting, kecuali angka nol di sebelah kanan angka yang diberi tanda khusus (biasanya garis bawah) termasuk angka penting**

Contoh:

1000 kg memiliki 1 angka penting.

1000 km memiliki 2 angka penting.



a. Aturan pembulatan

Contoh:

12, 412 dibulatkan menjadi dua angka penting, hasil pembulatannya 12

Contoh:

21, 0172 dibulatkan menjadi tiga angka penting, hasil pembulatannya 21,0

1281 dibulatkan menjadi dua angka penting, hasil pembulatannya 1300

## Kegiatan 1.2

Agar dapat memahami banyaknya angka penting hasil operasi matematis angka hasil pengukuran, lakukan kegiatan berikut.

### 1. Penjumlahan

a.  $21, \boxed{4}$  ketelitian . . . . . angka penting  
 $2,31 \boxed{2}$  + ketelitian . . . . . angka penting

.....

hasil pembulatan . . . . . ketelitian . . . . . angka penting

b.  $\begin{array}{r} 21,5\boxed{6} \\ 60,12\boxed{8} \\ + \end{array}$  ketelitian . . . . . angka penting  
ketelitian . . . . . angka penting

• • • • •

hasil pembulatan . . . . . ketelitian . . . . . angka penting

c.  $\begin{array}{r} 12, \boxed{6} \\ 20\boxed{2} \\ + \end{array}$  ketelitian . . . . . angka penting  
ketelitian . . . . . angka penting

\_\_\_\_\_

• • • • •

hasil pembulatan . . . . . ketelitian . . . . . angka penting

d.  $57,\boxed{2}$  ketelitian ..... angka penting  
 $13,\boxed{0}$  + ketelitian ..... angka penting  
 .....  
 hasil pembulatan ..... ketelitian ..... angka penting  
 Kesimpulan:  
 .....  
 .....

2. *Perkalian*

a.  $12,2\boxed{3}$  → ..... Ap      c.  $72,\boxed{5}$  → ..... Ap  
 $8$  x  $2,\boxed{8}$  x → ..... Ap  
 .....  
 hasil pembulatan ..... Ap      hasil pembulatan ..... Ap  
 b.  $27,\boxed{4}$  → ..... Ap      d.  $142\boxed{8}$  → ..... Ap  
 $20$  x  $31\boxed{1}$  x → ..... Ap  
 .....  
 hasil pembulatan ..... Ap      hasil pembulatan ..... Ap

Buatlah kesimpulan dari hasil kegiatan di atas!

**Catatan:**

- 1) aturan penjumlahan sama dengan pengurangan.
- 2) aturan perkalian sama dengan aturan pembagian, kuadrat, dan penarikan akar.



Pendahuluan

- a. Apakah yang dimaksud massa jenis?
- b. Apakah yang mempengaruhi massa jenis benda?
- c. Selembar kertas karton di potong-potong menjadi lima bagian dengan ukuran yang tidak sama. Perkirakan massa jenis tiap-tiap potong dari kertas karton tersebut, sama atau berbeda?

Siapkan 5 potong karton yang tidak sama ukurannya kemudian timbang tiap-tiap potong kertas menggunakan neraca. Ukurlah panjang, lebar dan tebal, masing-masing potong kertas karton menggunakan mistar dan jangka sorong. Tulis hasil pengukurannya dalam tabel.

Adapun contoh susun kolom dalam tabel adalah sebagai berikut.

Tabel hasil pengukuran ukuran kertas karton!

No.	Massa (m) (gr)	Panjang (p) (cm)	Lebar (l) (cm)	Tebal (t) (cm)	Volum (V) (cm <sup>3</sup> )

Diskusi

- 1. Berapakah massa jenis tiap-tiap potongan kertas karton?
- 2. Bandingkan hasil no. 1 dengan jawaban pada pertanyaan pendahuluan!
- 3. Berapakah massa jenis rata-ratanya?
- 4. Buatlah grafik hubungan massa benda dengan volum benda!
- 5. Hitunglah massa jenis benda berdasarkan grafik, bandingkan dengan jawaban no. 3!
- 6. Apakah kesimpulan kegiatan ini?
- 7. Rancanglah suatu kegiatan menentukan massa jenis benda yang bentuknya tidak teratur!

D. KESALAHAN DALAM PENGUKURAN

Hasil pengukuran tidak ada yang eksak, selalu mengandung kesalahan. Kesalahan-kesalahan ini tidak mungkin dihilangkan, tetapi kesalahan dalam pengukuran dapat diminimalkan. Kesalahan yang terjadi dalam pengukuran dapat dikelompokkan sebagai berikut.

## 1. Kesalahan Sistematis

Kesalahan sistematis adalah kesalahan yang tetap terjadi. Faktor yang menyebabkan terjadinya kesalahan sistematis sebagai berikut.

a. Kesalahan alat

Kesalahan kalibrasi alat dan interaksi alat dengan lingkungan.

b. Kesalahan perorangan

Jika pada saat membaca skala mata tidak tegak lurus dengan skala yang dibaca, hasil pembacaan mengandung kesalahan paralaks.

c. Kondisi percobaan

Kondisi percobaan tidak sama dengan kondisi saat alat di kalibrasi.

d. Teknik yang kurang sempurna

Teknologi atau langkah percobaan terlalu sederhana, sehingga banyak faktor yang mempengaruhi percobaan tidak terukur

## 2. Kesalahan Tindakan

Kesalahan tindakan umumnya disebabkan ketidakteelitian peneliti. Misalnya mengukur waktu 10 ayunan, tidak disadari baru 9 ayunan sudah selesai.

## E. BESARAN POKOK DAN BESARAN TURUNAN

Dalam kehidupan sehari-hari kita sering mendeskripsikan sesuatu atau membuat suatu pernyataan menggunakan angka. Angka yang kita nyatakan kadang-kadang berhubungan dengan besaran dan terkadang tidak berhubungan dengan besaran.

Perhatikan pernyataan berikut!

1. Jarak rumah ke sekolah 1,5 km.
2. Jumlah anak ayam 8 ekor.
3. Tinggi Ali 1,65 meter.
4. Luas halaman rumah 10 m<sup>2</sup>.
5. Mobil bergerak dengan kecepatan 80 km/jam.
6. Nomor rumah Dono 15.
7. Berat Pak Pardi 700 Kg  $m/s^2 = 700$  Newton.
8. Satu karung beras harganya Rp. 65.000,00.
9. Volum bangunan gudang 80 m<sup>3</sup>.
10. Gerak sebuah mobil mendapat percepatan 1,2 m/s<sup>2</sup>.

**Kegiatan 1.3**

- 1. Dari pernyataan-pernyataan di atas, pernyataan nomor berapakah yang tidak melibatkan besaran?  
(Pernyataan itu bukan hasil pengukuran, melainkan dari hasil mencacah atau menghitung)
- 2. Dari hasil pernyataan yang mengandung besaran, salin ke dalam tabel di bawah ini!

No.	Besaran yang diukur	Nilai	Satuan

- 3. Perhatikan kolom besaran yang diukur, apakah yang dimaksud besaran?
- 4. Berilah contoh besaran yang lain lengkap dengan satuannya!
- 5. Dari contoh-contoh besaran, kelompokkan berdasarkan besaran yang memiliki satu satuan besaran dan besaran yang memiliki lebih dari satu satuan besaran!

No.	Satu satuan besaran		Lebih dari satu satuan besaran	
	Nama Besaran	Satuan	Nama besaran	Satuan
	Jarak	m	Luas	m <sup>2</sup>

- 6. Besaran yang hanya memiliki satu satuan besaran dinamakan besaran pokok. Dalam sistem Satuan Internasional (S.I) ada 7 besaran pokok. Sebutkan!
- 7. Apakah yang dimaksud besaran pokok?
- 8. Selain besaran pokok juga ada besaran lain yang dinamakan besaran turunan. Berilah contoh besaran turunan!
- 9. Apakah yang dimaksud besaran turunan?
- 10. Buatlah 5 pernyataan:
  - a. yang menurut besaran
  - b. yang tidak menurut besaran!

Uji Pemahaman 1.1

Kerjakan soal berikut!

- 1. Anda mungkin sering mendengar, satuan panjang dengan feet (kaki). Dapatkah feet (kaki) digunakan sebagai satuan besaran pokok panjang dalam S.I. Beri penjelasan!
- 2. Di antara besaran-besaran dalam fisika ternyata terdapat beberapa besaran yang mempunyai lambang dimensi sama.
  - a. Tentukan besaran-besaran yang mempunyai lambang dimensi yang sama!
  - b. Apa yang dapat Anda simpulkan dari besaran-besaran yang mempunyai dimensi yang sama?

F. DIMENSI SUATU BESARAN

Dimensi suatu besaran adalah cara menyatakan suatu besaran dengan lambang-lambang tertentu.

Dengan lambang dimensi suatu besaran dapat diketahui apakah suatu persamaan benar atau salah dan dapat untuk mengetahui besaran-besaran yang sejenis. Di bawah ini lambang dimensi dari besaran pokok.

No.	Besaran	Lambang Dimensi
1.	Panjang	L
2.	Massa	M
3.	Waktu	T
4.	Kuat Arus	I
5.	Suhu	$\theta$
6.	Intensitas Cahaya	J
7.	Jumlah Zat	N

Catatan:

Lambang dimensi dari suatu besaran turunan harus dinyatakan dalam bentuk perkalian

Contoh: Dimensi dari kecepatan adalah  $L \cdot T^{-1}$

Kegiatan 1.4

Diskusikan isian berikut dengan kelompok Anda!

- 1. Lambang dimensi dari percepatan adalah ....
- 2. Lambang dimensi dari massa jenis adalah ....
- 3. Lambang dimensi dari gaya berat adalah ....

4. Lambang dimensi dari tekanan adalah ....
5. Lambang dimensi dari energi kinetik adalah ....
6. Lambang dimensi dari energi potensial adalah ....
7. Lambang dimensi dari gaya adalah ....

## G. PENJUMLAHAN DAN PERKALIAN DUA BUAH VEKTOR

Jika Anda berpindah dari titik A menuju titik B tentu akan berbeda hasilnya bila dibandingkan dengan Anda kembali dari titik B menuju ke titik A.

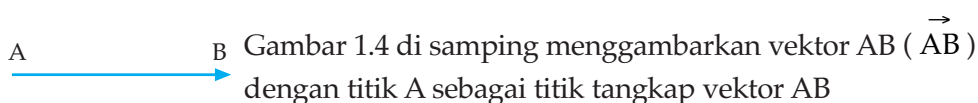
Namun, jika Anda mengukur jarak dari titik A ke titik B tentu akan sama dengan dari titik B ke titik A.

Demikian juga jika terdapat dua buah mobil yang sedang bergerak dalam arah yang berlawanan, walaupun angka yang ditunjukkan oleh speedometer kedua mobil sama, dikatakan kecepatan kedua mobil tersebut berbeda, namun kelajuan kedua mobil tersebut sama, maka di dalam fisika diperlukan adanya konsep vektor dan konsep skalar untuk dapat menjelaskan hal tersebut di atas.

Konsep vektor digunakan untuk besaran-besaran dalam fisika yang mempunyai besar dan arah. Adapun konsep skalar digunakan untuk besaran-besaran dalam fisika yang mempunyai besar saja.

### Kegiatan 1.5

Coba sebutkan besaran-besaran dalam fisika yang termasuk besaran vektor dan yang termasuk besaran skalar? Susunlah dalam bentuk tabel! Untuk mempermudah pemahaman tentang vektor. Vektor dapat digambarkan dengan sepenggal garis berarah, di mana panjang penggalan garis menyatakan besar vektor dan arah panah menyatakan arah vektor.



Gambar 1.4 Vektor AB

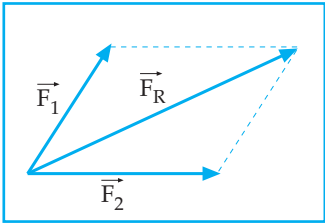
### 1. Menjumlahkan Vektor

Operasi matematika pada besaran vektor ternyata berbeda dengan operasi matematika pada besaran skalar. Untuk memahami hal tersebut perlu mengetahui cara penjumlahan vektor.



Dua buah vektor atau lebih dapat dijumlahkan menjadi sebuah vektor. Dalam menjumlahkan vektor-vektor tersebut dapat dilakukan dengan cara jajaran genjang atau dengan cara poligon gaya.

**a. Menjumlahkan vektor dengan cara jajaran genjang**

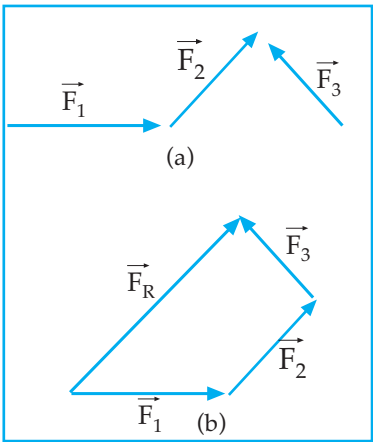


Gambar 1.5 Resultan dua vektor

Gambar 1.5 di samping vektor  $F_1$  dan vektor  $F_2$  pada satu titik tangkap yang dijumlahkan dengan cara jajaran genjang. Vektor  $F_R$  merupakan vektor hasil penjumlahan dari vektor  $F_1$  dan vektor  $F_2$ , maka penjumlahan vektor dapat

dinyatakan:  $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}_R$

**b. Menjumlahkan vektor dengan cara poligon**



Gambar 1.6 Poligon gaya

Gambar 1.6 (a) di samping menggambarkan vektor  $F_1$ , vektor  $F_2$  dan vektor  $F_3$  yang mempunyai besar dan arah tertentu.

Gambar 1.6 (b) di samping menggambarkan penjumlahan vektor  $F_1$ , vektor  $F_2$  dan vektor  $F_3$  tersebut di atas dengan cara poligon gaya dan vektor  $F_R$  sebagai hasil penjumlahan dari ketiga vektor tersebut. Dengan demikian secara penjumlahan vektor dapat dinyatakan:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{F}_R$$

**Percobaan 1.2: Penjumlahan vektor gaya.**

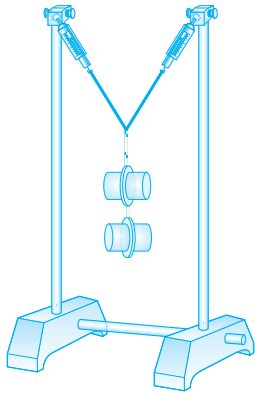


Gantungkan beban pada dinamometer (gambar (a)). Periksa berat beban dan catat pada tabel!

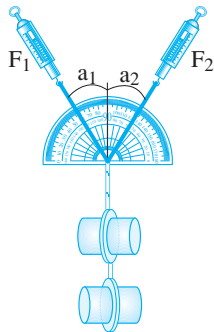
Geser dasar statif agar masing-masing dinamometer membentuk sudut  $\pm 20^\circ$  terhadap garis tegak (garis vertikal). Ukur  $a_1$  dan  $a_2$  dengan busur derajat (gambar (b)) dan catat pada tabel. Kemudian baca gaya  $F_1$  dan  $F_2$  pada masing-masing dinamometer dan catat pada tabel. Adapun susunan kolom dalam tabel adalah  $a_1(^{\circ})$ ,  $a_2(^{\circ})$ ,  $F_1(N)$ ,  $F_2(N)$ , berat beban (N) dan resultan gaya (N)

Ulangi langkah pada paragraf dua untuk sudut-sudut:

$a_1$	$25^\circ$	$30^\circ$	$35^\circ$
$a_2$	$25^\circ$	$30^\circ$	$35^\circ$



(a)



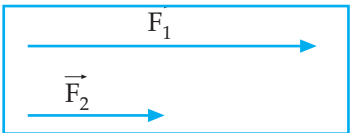
(b)

Lukiskan sudut  $a_1 = a_2 = 20^\circ$  dengan vektor gaya  $F_1$  dan  $F_2$  (panjang garis sebanding dengan besarnya gaya) pada kertas yang sudah disiapkan. Lukiskan jajargenjang dan tariklah garis diagonal sebagai resultan gaya. Dari gambar, tentukan nilai resultannya dan isikan dalam tabel!

Ulangi kegiatan pada paragraf empat untuk sudut  $25^\circ$ ,  $30^\circ$  dan  $35^\circ$ . Adakah hubungan antara berat beban dengan resultan gaya? Apakah yang dapat Anda simpulkan melalui percobaan ini?

## 2. Mengurangkan Vektor

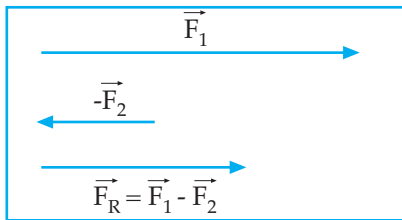
Mengurangkan sebuah vektor sama dengan menambah dengan lawan vektor tersebut.



Gambar 1.7 Dua vektor searah

Bagaimanakah hasil dari  $\vec{F}_1 - \vec{F}_2$ ?

Untuk dapat mengurangkan  $\vec{F}_2$  pada  $\vec{F}_1$ , maka bentuk  $\vec{F}_1 - \vec{F}_2$  dapat diubah menjadi  $\vec{F}_1 + (-\vec{F}_2)$ . Vektor  $-\vec{F}_2$  menyatakan vektor berlawanan dengan vektor  $\vec{F}_2$ . Jadi gambarnya menjadi:



Gambar 1.8 Mengurangkan vektor

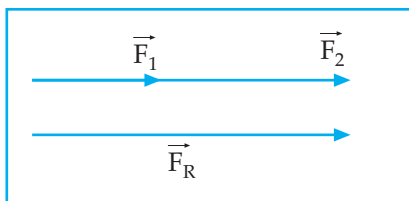
$\vec{F}_R$  diperoleh dengan cara memotong  $\vec{F}_1$  dengan  $\vec{F}_2$

### 3. Resultan dari Dua Buah Vektor

Di atas telah dijelaskan bahwa dua buah vektor atau lebih dapat dijumlahkan menjadi sebuah vektor. Vektor hasil penjumlahan dari vektor-vektor tersebut disebut juga *vektor resultan*. Bagaimanakah besar dan arah dari vektor resultan tersebut?

Untuk itu perhatikan uraian di bawah ini!

Dua orang mendorong meja di atas lantai secara bersama-sama, lebih ringan dibanding mendorong meja secara sendiri-sendiri. Hal ini dikarenakan gaya dorong dari kedua orang tersebut menghasilkan gaya dorong resultan yang besarnya sama dengan jumlah dari gaya dorong dari masing-masing orang dengan arah yang sama. Dari gambaran peristiwa tersebut, dapat disimpulkan bahwa jika terdapat dua vektor yang segaris kerja dengan arah yang sama akan menghasilkan sebuah vektor resultan yang besarnya sama dengan jumlah dari besar masing-masing vektor dengan arah vektor resultan sama dengan arah dari masing-masing vektor yang dijumlahkan. Secara grafis dapat digambarkan seperti gambar 1.9 berikut.



Gambar 1.9 Jumlah dua vektor

Keterangan:

vektor  $F_1$  dan vektor  $F_2$

satu titik tangkap

panjang vektor  $F_1 = 3 \text{ cm}$

panjang vektor  $F_2 = 5 \text{ cm}$

panjang vektor  $F_R = 8 \text{ cm}$

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \quad \text{dan besar } \vec{F}_R : F_R = F_1 + F_2$$

$$\text{arah } \vec{F}_R = \text{arah } \vec{F}_1 = \text{arah } \vec{F}_2$$

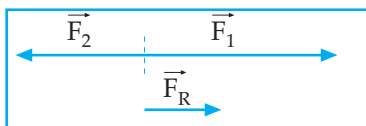
## Kegiatan 1.6

Diskusikan permasalahan berikut dengan kelompok Anda!

Jika terdapat dua orang dengan inisial A dan B yang sedang melakukan tarik tambang, bagaimanakah keadaan tambang jika:

1. A dan B memberikan gaya tarik yang sama besar
2. A memberikan gaya tarik lebih besar dibanding gaya tarik yang diberikan oleh B
3. B memberikan gaya tarik lebih besar dibanding gaya tarik yang diberikan oleh A?

Dari gambaran peristiwa tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa jika terdapat dua vektor segaris kerja dengan arah berlawanan akan menghasilkan vektor resultan yang besarnya sama dengan hasil pengurangan dari kedua vektor tersebut dengan arah vektor resultan sama dengan arah vektor yang nilainya lebih besar. Secara grafis dapat digambarkan seperti gambar 1.10 berikut.



Gambar 1.10 Dua vektor segaris berlawanan arah

Keterangan:

Vektor  $F_1$  dan vektor  $F_2$  satu titik tangkap dan segaris kerja.

Vektor  $F_1 = 5$  cm ke kanan

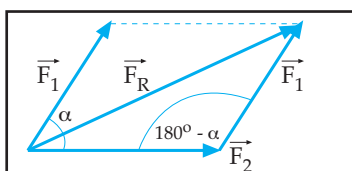
Vektor  $F_2 = 3$  cm ke kiri

Vektor  $F_R = 2$  cm ke kanan

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 \pm \vec{F}_2 \quad \text{dan besar} \quad F_R = F_1 \pm F_2$$

Selanjutnya bagaimana cara menentukan besar dan arah dari vektor resultan yang diperoleh dari dua buah vektor yang mengapit sudut tertentu?

Untuk itu perhatikan gambar 1.11 di bawah.



Gambar 1.11 Vektor resultan

Perhatikan gambar 1.11 di samping,  $\vec{F}_R$  adalah vektor resultan dari  $\vec{F}_1$  dan  $\vec{F}_2$  yang satu titik tangkap dan saling mengapit sudut  $\alpha$ .

Secara vektor dapat dinyatakan:  $\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$

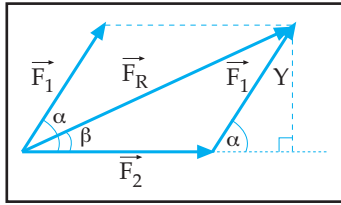
Besar vektor  $F$  dapat dihitung dengan bantuan rumus cosinus.

dari segitiga  $F_2F_1F_R$  diperoleh:

$$F_R^2 = F_1^2 + F_2^2 - 2 F_1 \cdot F_2 \cdot \cos (180^\circ - \alpha)$$

$$F_R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2 F_1 \cdot F_2 \cdot \cos \alpha \quad \text{atau} \quad F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2 F_1 \cdot F_2 \cdot \cos \alpha}$$

Arah vektor  $F_R$  dapat ditentukan dengan rumus sinus.



Gambar 1.12 Vektor resultan

Gambar 1.12 di samping  $\beta$  menyatakan arah vektor  $F_R$  terhadap vektor  $F_2$

Berdasarkan rumus sinus diperoleh:

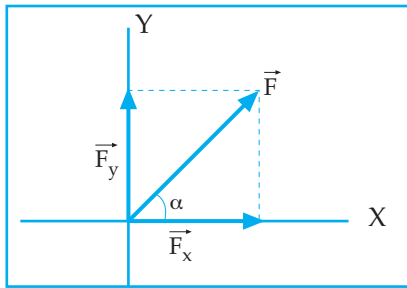
$$\sin \alpha = \frac{Y}{F_1} \qquad \sin \beta = \frac{Y}{F_R}$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{Y}{F_1} \times \frac{F_R}{Y} = \frac{F_R}{F_1} \quad \text{atau} \quad \frac{F_1}{\sin \beta} = \frac{F_R}{\sin \alpha}$$

Catatan: Jika pada sebuah benda bekerja beberapa buah gaya pada satu bidang datar dan benda dalam keadaan diam, maka  $\Sigma F = 0$

#### 4. Menguraikan Sebuah Vektor

Jika pada pembahasan sebelumnya telah dijelaskan bahwa beberapa buah vektor dapat dijumlahkan menjadi sebuah vektor, maka sebaliknya sebuah vektor dapat diuraikan menjadi beberapa buah vektor. Vektor-vektor hasil uraian tersebut disebut *vektor komponen*. Dalam hal ini akan dibahas uraian vektor pada bidang datar pada dua garis yang saling tegak lurus.



Gambar 1.13 Vektor komponen

Gambar 1.13 di samping, sebuah vektor  $F$  terletak pada bidang cartesius dan bertitik tangkap pada titik  $O$  (titik potong sumbu  $x$  sumbu  $y$ ). Vektor  $F$  tersebut jika diuraikan pada sumbu  $x$  dan sumbu  $y$  dengan cara memproyeksikan gaya  $F$  pada sumbu  $x$  dan sumbu  $y$  diperoleh dua komponen vektor.

Komponen vektor  $F$  pada sumbu  $x$  adalah  $\vec{F}_x$  dan besar  $\vec{F}_x$  adalah  $F_x = F$

$\cos \alpha$  dan komponen vektor  $F$  pada sumbu  $y$  adalah  $\vec{F}_y$  dan besar  $\vec{F}_y$  adalah  $F_y = F \sin \alpha$

Secara vektor dapat dinyatakan:  $\vec{F} = \vec{F}_x + \vec{F}_y$

Besar vektor  $F$  adalah:  $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$

Arah vektor  $F$  terhadap sumbu  $x$  positif ( $\alpha$ ) =  $\tan \alpha = \frac{F_y}{F_x}$

Jika pada sebuah titik partikel bekerja beberapa buah vektor satu bidang datar, maka besar resultan dari vektor-vektor tersebut adalah ....

$$F_R = \sqrt{\Sigma F_x^2 + \Sigma F_y^2}$$

$$\Sigma F_x = F_1 \cos \alpha_1 + F_2 \cos \alpha_2 + F_3 \cos \alpha_3 + \dots + F_n \cos \alpha_n.$$

$$\Sigma F_y = F_1 \sin \alpha_1 + F_2 \sin \alpha_2 + F_3 \sin \alpha_3 + \dots + F_n \sin \alpha_n.$$

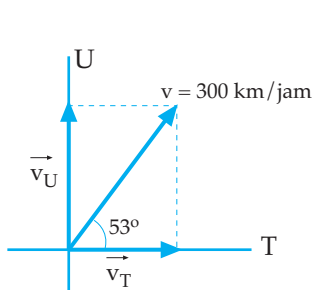
Arah vektor resultan terhadap  $x$  positif ( $\beta$ ):

$$\tan \beta = \frac{\Sigma F_y}{\Sigma F_x}$$

### Contoh Soal 1.1

1. Sebuah pesawat terbang melaju dengan kecepatan 300 km/jam dengan arah antara arah timur dan utara membentuk sudut  $53^\circ$  terhadap arah timur. Tentukan komponen kecepatan pesawat pada arah timur dan utara!

Penyelesaian:



$\vec{v}_T$ : komponen kecepatan pada arah timur

$\vec{v}_U$ : komponen kecepatan pada arah utara

$$v_T = v \cos 53^\circ = 300 \cdot 0,6 = 180 \text{ km/jam}$$

$$v_U = v \sin 53^\circ = 300 \cdot 0,8 = 240 \text{ km/jam}$$

2. Pada titik O (titik potong sumbu  $x$  dan sumbu  $y$ ) bekerja tiga buah gaya satu bidang datar yaitu:  $F_1 = 4 \text{ N}$ ;  $F_2 = 3 \text{ N}$  dan  $F_3 = 8 \text{ N}$ . Masing-masing gaya tersebut terhadap sumbu  $x$  positif berturut-turut membentuk sudut  $0^\circ$ ;  $90^\circ$  dan  $217^\circ$

Tentukan: a. besar resultan gaya dari ketiga gaya tersebut  
b. arah resultan gaya terhadap sumbu  $x$  positif.

Penyelesaian:

Diketahui:  $F_1 = 4 \text{ N}$  ;  $F_2 = 3 \text{ N}$  ;  $F_3 = 8 \text{ N}$

$$\alpha_1 = 0^\circ ; \alpha_2 = 90^\circ ; \alpha_3 = 217^\circ$$

Ditanya : a.  $F_R = \dots?$

b.  $\beta = \dots?$

Jawab:

a.

F	$\alpha$	$F_x = F \cos \alpha$	$F_y = F \sin \alpha$
$F_1 = 4 \text{ N}$	$\alpha_1 = 0^\circ$	$F_1 \cos \alpha_1 = 4 \text{ N}$	$F_1 \sin \alpha_1 = 0 \text{ N}$
$F_2 = 3 \text{ N}$	$\alpha_2 = 90^\circ$	$F_2 \cos \alpha_2 = 0 \text{ N}$	$F_2 \sin \alpha_2 = 3 \text{ N}$
$F_3 = 8 \text{ N}$	$\alpha_3 = 217^\circ$	$F_3 \cos \alpha_3 = -6,4 \text{ N}$	$F_3 \sin \alpha_3 = -4,8 \text{ N}$
		$\Sigma F_x = -2,4 \text{ N}$	$\Sigma F_y = -1,8 \text{ N}$

$$F_R = \sqrt{(\Sigma F_x)^2 + (\Sigma F_y)^2}$$

$$F = \sqrt{5,76 + 3,24} = 3 \text{ N}$$

b.  $\tan \beta = \frac{\Sigma F_y}{\Sigma F_x} = \frac{-1,8}{-2,4} = 0,75$

$$\beta = 37^\circ$$

Karena  $\Sigma F_x$  negatif ;  $\Sigma F_y$  negatif, berarti  $\vec{F_R}$  berada pada kwadran III sehingga  $\beta = 180^\circ + 37^\circ = 217^\circ$

## 5. Hasil Kali Dua Buah Vektor

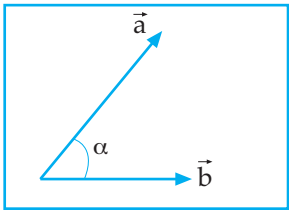
Konsep usaha dalam fisika merupakan hasil kali gaya yang searah perpindahannya dengan perpindahannya. Dengan demikian jika terdapat sebuah gaya  $\vec{F}$  yang bekerja pada sebuah benda dengan arah sudut kecondongan gaya  $\vec{F}$  sebesar  $\alpha$  terhadap perpindahannya ( $\vec{S}$ ), maka besar usaha yang dilakukan oleh gaya  $\vec{F}$  selama perpindahannya dapat dinyatakan  $W = F \cdot S \cos \alpha$ , sedangkan besar momen gaya  $\vec{F}$  terhadap sebuah titik dapat dinyatakan  $\tau = F \cdot L \cdot \sin \alpha$



Pada dasarnya besar dari usaha ( $W$ ) dan momen gaya ( $\tau$ ) tersebut merupakan konsep dari hasil kali dua buah vektor, sebab hasil kali dua buah vektor ada 2 macam, yaitu hasil kali titik dua buah vektor dan hasil kali silang dua buah vektor.

**a. Hasil kali titik dua buah vektor**

Hasil kali titik dua buah vektor disebut juga *dot product*.



Gambar 1.14  
Perkalian dua vektor

Dua buah vektor yang dioperasikan dengan dot product menghasilkan sebuah skalar.

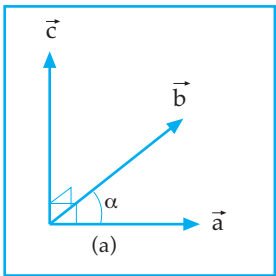
Gambar 1.14 di samping vektor  $a$  dan vektor  $b$  satu titik tangkap dan saling mengapit sudut  $\alpha$ , maka dot product dari vektor  $a$  dan vektor  $b$  dapat dinyatakan dengan  $\vec{a} \cdot \vec{b}$  dan besar dari

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = a \cdot b \cos \alpha$$

**b. Hasil kali silang dua buah vektor**

Hasil kali silang dua buah vektor disebut juga *cross product*.

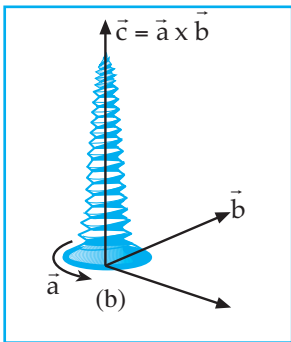
Dua buah vektor yang dioperasikan dengan cross product menghasilkan sebuah vektor. Vektor hasil dari cross product dua buah vektor dapat digambar sebagai sebuah vektor yang tegak lurus terhadap masing-masing vektor tersebut dengan arah searah dengan hasil perputaran sistem kedua vektor melalui sudut apit yang kecil (seperti arah gerak mur baut putar kanan)



Gambar 1.15 (a) di samping, vektor  $a$  dan vektor  $b$  satu titik tangkap dan saling mengapit sudut  $\alpha$ , maka *cross product* dari vektor  $a$  dan vektor  $b$  dapat dinyatakan dengan  $\vec{a} \times \vec{b}$  dan  $\vec{a} \times \vec{b} = c$  di

mana besar vektor  $c$  dapat dihitung dengan persamaan:

$$c = a \cdot b \cdot \sin \alpha$$



Gambar 1.15  
Arah gerak mur baut putar kanan yang sedang diputar

### Contoh Soal 1.2

1. Vektor  $a = 10$  cm dan vektor  $b = 20$  cm, satu titik tangkap dan saling mengapit sudut  $37^\circ$  satu dengan lain.

Hitunglah:

a.  $|\vec{a} \cdot \vec{b}|$

b.  $|\vec{a} \times \vec{b}|$

Jawab:

a.  $|\vec{a} \cdot \vec{b}| = a \cdot b \cdot \cos \alpha$   
 $= 10 \cdot 20 \cdot \cos 37^\circ$   
 $= 160 \text{ cm}^2$

b.  $|\vec{a} \times \vec{b}| = a \cdot b \cdot \sin \alpha$   
 $= 10 \cdot 20 \cdot \sin 37^\circ$   
 $= 120 \text{ cm}^2$

2. Vektor  $\vec{F}_1$  dan  $\vec{F}_2$  satu titik tangkap dan saling mengapit sudut  $53^\circ$ . Jika  $F_1 = 4F_2$  dan  $\vec{F}_1 \cdot \vec{F}_2 = 240 \text{ N}^2$ , maka tentukan besar dari  $\vec{F}_1$  dan  $\vec{F}_2$  tersebut!

Penyelesaian:

Diketahui:  $\alpha = 53^\circ$ ;  $F_1 = 4F_2$  ;

$$\vec{F}_1 \cdot \vec{F}_2 = 240 \text{ N}^2$$

Ditanya:  $\vec{F}_1$  dan  $\vec{F}_2$

Jawab :

$$\vec{F}_1 \cdot \vec{F}_2 = F_1 \cdot F_2 \cos \alpha$$

$$240 = 4F_2^2 \cdot 0,6$$

$$F_2^2 = 100$$

$$F_2 = 10 \text{ N}$$

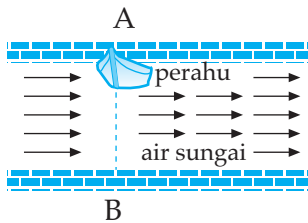
$$F_1 = 4F_2$$

$$= 40 \text{ N}$$

## Uji Pemahaman 1.2

Kerjakan soal berikut!

1.



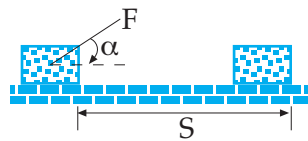
Gambar di samping melukiskan sebuah perahu sedang menyeberangi sungai. Air sungai mengalir ke kanan.

- a. Jika arah gerak perahu diarahkan tegak lurus arah arus sungai. Dapatkah gerak perahu melalui lintasan AB? Beri penjelasan!

Jika tidak dapat melalui lintasan AB, maka ke arah mana perahu menyeberangi sungai?

- b. Agar perahu dapat menyeberangi sungai melalui lintasan AB, ke arah mana perahu harus digerakkan?

2.



Perhatikan gambar di samping. Sebuah gaya  $F$  konstan dengan arah  $\alpha$  terhadap bidang datar sedang bekerja pada sebuah benda yang terletak pada bidang datar sehingga benda berpindah sejauh  $S$ . Usaha

( $W$ ) yang dilakukan oleh gaya  $F$  selama perpindahan tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan:  $W = F \cdot S \cdot \cos \alpha$ . Dari persamaan tersebut maka usaha termasuk besaran skalar atau besaran vektor? Beri penjelasan!

## Rangkuman

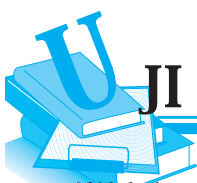
- Mengukur adalah suatu kegiatan menggunakan alat ukur dengan tujuan mengetahui nilai satuan besaran
- Angka penting adalah angka-angka yang didapat dari hasil mengukur
- Angka pasti adalah angka-angka yang didapat dari hasil membilang
- Kesalahan dalam pengukuran ada dua 2 macam, yaitu kesalahan sistematis dan kesalahan tindakan
- Besaran ada 2 macam, yaitu besaran pokok dan besaran turunan
- Dimensi adalah cara menyatakan satuan suatu besaran dengan lambang-lambang tertentu
- Besaran vektor adalah besaran yang mempunyai besar dan arah
- Besaran skalar adalah besaran yang mempunyai besar saja
- Hasil kali dua vektor ada 2 macam, yaitu cross product dan dot product

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = a \cdot b \cos \alpha$$

$$|\vec{a} \times \vec{b}| = a \cdot b \sin \alpha$$

## KATA KUNCI

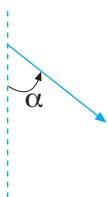
- skala
- skala nonius
- angka penting
- angka ragu-ragu
- kesalahan sistematis
- besaran pokok
- besaran turunan
- dimensi besaran
- besaran vektor
- besaran skalar
- resultan



## JI KOMPETENSI

### A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar!

1.



Momen gaya  $F$  ( $\tau$ ) terhadap titik  $O$  dinyatakan dengan  $\tau = F \cdot L \cdot \sin \alpha$  maka

momen gaya termasuk besaran

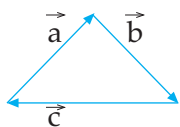
....

- pokok
- dasar
- vektor
- skalar
- tak berdimensi

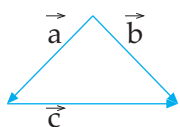
2. Yang menggambarkan

$\vec{a} - \vec{b} = \vec{c}$  adalah ....

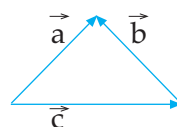
a.



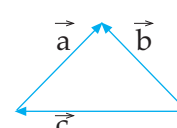
b.



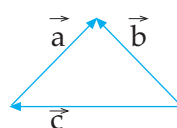
c.



d.



e.



3. Dua buah vektor satu titik tangkap dengan besar yang sama saling mengapit sudut  $60^\circ$ . Jika resultan kedua vektor tersebut sebesar  $20\sqrt{3}$  Newton, maka besar masing-masing vektor adalah ....

- 6 N
- 10 N
- 15 N
- 20 N
- 30 N

4. Pernyataan berikut benar, **kecuali** ....

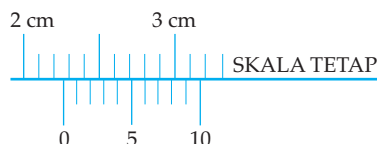
- $(\vec{p} \cdot \vec{q}) = -(\vec{q} \cdot \vec{p})$
- $|\vec{p} \times \vec{q}| = -|\vec{q} \times \vec{p}|$
- $|\vec{p} \cdot \vec{q}| = |\vec{q} \cdot \vec{p}|$
- $(\vec{p} \times \vec{q}) = \vec{q} \times \vec{p}$
- $(\vec{p} \times \vec{q}) = -(\vec{q} \times \vec{p})$

5. Vektor a dan vektor b satu titik tangkap dan saling mengapit sudut  $30^\circ$ . Jika besar vektor a =  $\frac{1}{4}$  besar vektor b, maka

$$|\vec{a} \times \vec{b}| = \dots$$

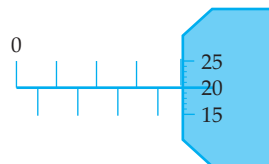
- $0,125 b^2$
- $0,125 a^2$
- $2 b^2$
- $0,25 b^2$
- $0,5 a^2$

6. Pada pengukuran panjang dengan jangka sorong, kedudukan skala tetap dan nonius seperti pada gambar. Hasil pengukuran tersebut adalah ....



- 2,26 cm
- 3,20 cm
- 2,33 cm
- 2,34 cm
- 2,35 cm

7. Sebuah mikrometer sekrup digunakan untuk mengukur garis tengah bola yang kecil dengan hasil seperti gambar berikut.



Hasil pengukurannya adalah ....

- 2,20 mm
- 2,52 mm
- 3,70 mm
- 4,20 mm
- 4,70 mm

8. Sebuah vektor  $F = 20$  N membentuk sudut  $53^\circ$  terhadap sumbu x positif. Pernyataan berikut yang **benar** adalah ....

- $F_x = 10\sqrt{3}$  N dan  $F_y = 10$  N
- $F_x = 12$  N dan  $F_y = 16$  N
- $F_x = 10$  N dan  $F_y = 10\sqrt{3}$  N
- $F_x = 16$  N dan  $F_y = 12$  N
- $F_x = 20$  N dan  $F_y = 10$  N

9. Pada suatu pengukuran diperoleh hasil sebagai berikut!

- 0,0023 m
- 24,5 gr
- $1,0 \cdot 10^4$  kg
- 0,0240 A

Yang memiliki tiga angka penting adalah ....

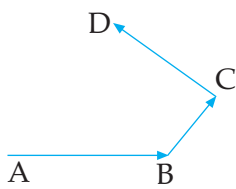
- (1) dan (3)
- (2) dan (4)
- (1), (2), dan (3)
- (2), (3), dan (4)
- (1), (2), (3), dan (4)

10.  $ML^2 T^{-2}$  merupakan lambang dimensi dari besaran ....

- gaya berat
- usaha
- daya
- tekanan
- percepatan

## B. Kerjakan soal-soal di bawah ini dengan benar!

1.



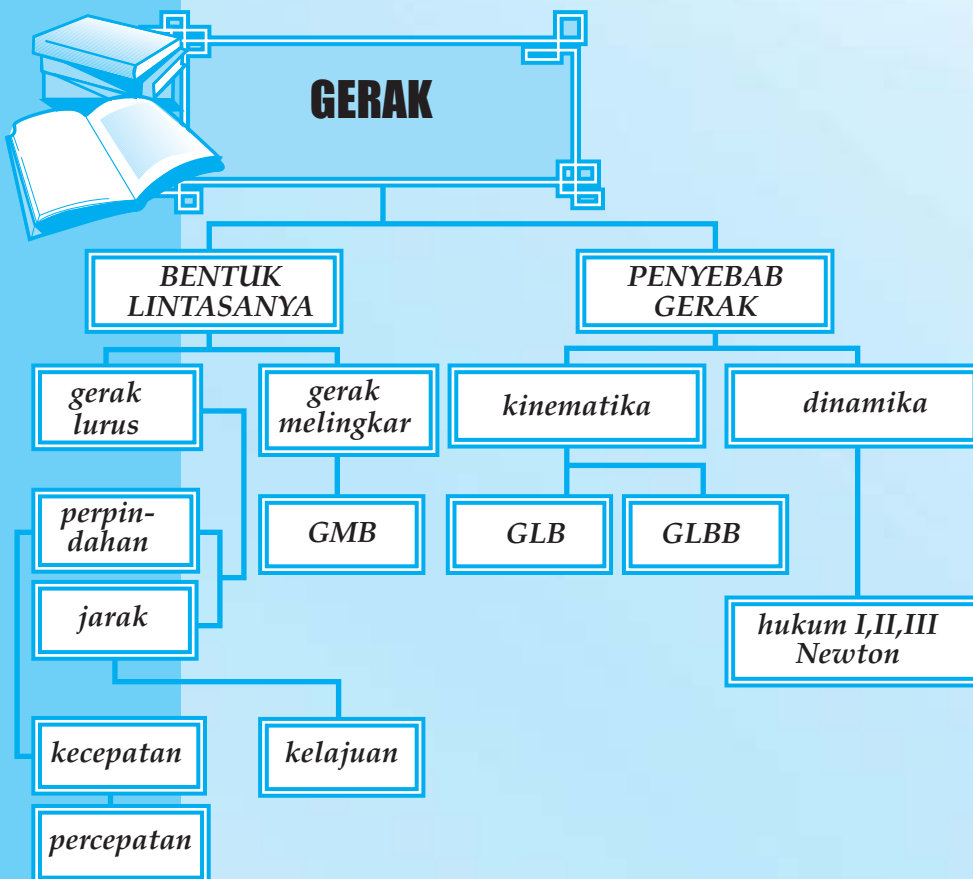
Gambar di samping menyatakan perpindahan seseorang dari titik A ke titik B ke titik C kemudian ke titik D.

- Mengapa perpindahan orang dari titik A ke titik B ke titik C kemudian ke titik D sama dengan perpindahan orang tersebut dari titik A ke titik D?
  - Samakah jarak yang ditempuh orang tersebut selama perpindahannya dan besar perpindahannya?
  - Apakah beda jarak dan perpindahan?
2. Selesaikan operasi matematik di bawah ini dengan menggunakan aturan angka penting!
- |                  |                        |                   |
|------------------|------------------------|-------------------|
| a. $15,12 + 1,2$ | d. $125 - 4,28$        | g. $14,27 : 3,90$ |
| b. $105 + 4,501$ | e. $1,26 \times 4,3$   | h. $1,25 : 0,015$ |
| c. $24,15 - 5,2$ | f. $12,55 \times 1,43$ |                   |
3. Dua buah gaya satu titik tangkap masing-masing besarnya  $F_1 = 20 \text{ N}$  dan  $F_2 = 15 \text{ N}$ .
- Tentukan besar resultan maksimum dari kedua vektor tersebut!
  - Tentukan besar resultan minimum dari kedua vektor tersebut!
  - Tentukan besar resultan dan arah gaya resultan terhadap gaya  $F_1$  jika sudut yang diapit oleh kedua gaya  $= 60^\circ$ !
4. Sebuah perahu dengan kecepatan  $5 \text{ m/s}$  menyeberangi sungai yang lebarnya  $5 \text{ m}$  dengan kecepatan arus air sungai  $3 \text{ m/s}$ . Arah perahu diupayakan selalu membentuk sudut  $60^\circ$  terhadap arah arus air. Tentukan:
- lama perahu menyeberangi sungai
  - arah perahu selama perjalanannya terhadap arah arus air sungai tersebut!
5. Vektor  $a$  dan vektor  $b$  satu titik tangkap dan saling mengapit sudut  $\alpha$  satu dengan yang lain. Besar vektor  $a = 10 \text{ N}$  dan besar vektor  $b = 8 \text{ N}$ . Jika  $\vec{a} \cdot \vec{b} = 40 \text{ N}^2$ , maka berapa  $|\vec{a} \times \vec{b}|$ ?

# 2

## GERAK

Setelah mempelajari materi "Gerak" diharapkan Anda dapat menganalisis besaran-besaran fisika dan grafik pada gerak lurus dengan kecepatan dan percepatan konstan serta mampu memahami persamaan-persamaan dan besaran-besaran pada benda yang melakukan gerak melingkar beraturan. Selain itu diharapkan Anda mampu mengidentifikasi prinsip hukum-hukum Newton dalam kehidupan sehari-hari serta mampu menerapkan hukum Newton pada gerak vertikal dan gerak melingkar.





Kinematika adalah bagian mekanika yang mempelajari gerakan benda tanpa meninjau penyebabnya. Di antara macam-macam gerakan benda terdapat dua gerak yaitu gerak translasi dan gerak rotasi. *Gerak translasi* adalah gerakan yang berhubungan dengan berpindahnya suatu benda dari suatu tempat menuju ke tempat lain, di mana setiap partikel dalam benda dalam selang waktu yang sama menempuh jarak yang sama, sedangkan *Gerak rotasi (gerak putar)* adalah gerakan suatu benda dimana setiap titik pada benda tersebut mempunyai jarak yang tetap terhadap suatu sumbu tertentu. Pada umumnya gerakan suatu benda adalah campuran daripada gerak translasi dan rotasi. Misalnya sembarang benda yang dilemparkan akan terlihat bahwa di samping ia berpindah dari suatu tempat menuju ke tempat yang lain, maka ia juga akan berputar.

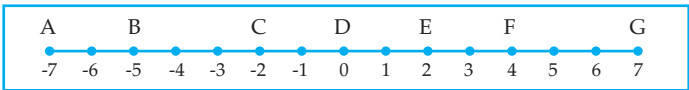
Jika benda yang ditinjau mempunyai ukuran yang jauh lebih kecil daripada lintasannya, maka gerakannya dapat dianggap translasi saja, dan benda seperti ini dalam mekanika disebut titik materi atau partikel. Bagian mekanika yang mempelajari gerakan titik materi/partikel tanpa memperhatikan penyebabnya disebut *kinematika partikel*.

Berdasarkan lintasan yang dibuatnya, partikel yang bergerak dapat berupa garis lurus, lingkaran atau garis lengkung.

## A. GERAK LURUS BERATURAN DAN GERAK LURUS BERUBAH BERATURAN

### 1. Pengertian Gerak

Suatu benda dikatakan bergerak apabila kedudukannya berubah terhadap acuan tertentu. Misalnya penumpang yang duduk di dalam bus yang sedang bergerak meninggalkan terminal. Jika terminal ditentukan sebagai acuan, penumpang dan bus dikatakan bergerak terhadap terminal. Jika bus ditentukan sebagai acuan dikatakan penumpang diam (tidak bergerak) terhadap bus.



Gambar 2.1 Kedudukan titik

Dari gambar 2.1 jika titik D ditentukan sebagai acuan maka kedudukan titik:

A = .....	E = .....
B = .....	F = .....
C = .....	G = .....

2. Perpindahan dan Jarak

Perpindahan adalah perubahan kedudukan suatu benda karena perubahan waktu. Perpindahan merupakan besaran vektor.

Dari gambar 2.1 tentukan perpindahan yang dialami suatu benda jika benda berpindah.

- a. dari kedudukan A ke D ( $\Delta X = \dots - \dots = \dots$ )
- b. dari kedudukan E ke G ( $\Delta X = \dots - \dots = \dots$ )
- c. dari kedudukan E ke B ( $\Delta X = \dots - \dots = \dots$ )
- d. dari kedudukan G ke F ( $\Delta X = \dots - \dots = \dots$ )

Jarak adalah panjang lintasan sesungguhnya yang ditempuh oleh suatu benda dalam waktu tertentu.

Jarak merupakan besaran skalar.

Dari gambar 2.1 tentukan jarak yang ditempuh oleh suatu benda jika benda bergerak:

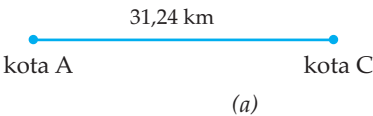
- a. dari A ke C ke F = ..... satuan
- b. dari C ke G ke B = ..... satuan
- c. dari F ke D ke A = ..... satuan
- d. dari D ke E ke B = ..... satuan
- e. dari B ke A ke G = ..... satuan

Kegiatan 2.1

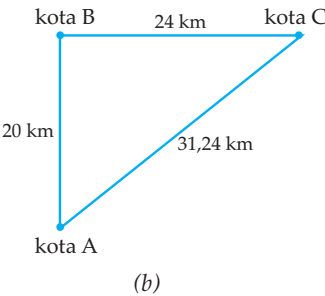
Diskusikan persoalan berikut bersama kelompok Anda!

Tono dan Tini berkendara dari kota A menuju kota C dengan lintasan sebagai berikut.

Lintasan yang ditempuh Tono dalam suatu perjalanan dari kota A ke kota C adalah sebagai berikut:



Lintasan yang ditempuh Tini dalam suatu perjalanan dari kota A ke kota C melewati kota B adalah sebagai berikut.



Dari perjalanan tersebut berapakah jarak yang ditempuh:

- a. Tono (.....)
- b. Tini (.....)

Dari perjalanan tersebut berapakah perpindahan yang ditempuh:

- a. Tono (.....)
- b. Tini (.....)

Buatlah Kesimpulan!

### 3. Kelajuan dan Kecepatan

Kereta api melaju dari kota A ke kota B yang berjarak 120 km selama 2 jam, Hal ini dapat dikatakan bahwa kereta api melaju dengan kelajuan rata-rata 60 km/jam. Untuk melihat kelajuan kendaraan, dapat langsung melihat pada alat yang disebut *speedometer*. Speedometer adalah alat untuk mengukur kelajuan sesaat.

Kelajuan dapat ditentukan dengan cara membagi jarak yang ditempuh dengan waktu tempuhnya. Kelajuan selalu bernilai positif. Kenapa?

Kecepatan merupakan perbandingan antara perpindahan dengan waktu tempuh. Kecepatan juga dapat didefinisikan sebagai kelajuan yang berarah. Kecepatan dapat bernilai positif atau negatif. Kenapa?

#### a. Kelajuan rata-rata dan kecepatan rata-rata

Kelajuan rata-rata didefinisikan sebagai hasil bagi jarak total yang ditempuh dengan waktu tempuhnya.

$$v = \frac{s}{t}$$

... (1) dengan  $s$  = jarak total dalam m  
 $t$  = waktu tempuh dalam s  
 $v$  = kelajuan rata-rata dalam m/s

Kecepatan rata-rata didefinisikan sebagai hasil bagi perpindahan dengan selang waktu.

Kecepatan rata-rata secara matematis ditulis:

$$\vec{v} = \frac{\vec{\Delta s}}{\Delta t}$$

... (2) dengan  $\vec{\Delta s}$  = perpindahan dalam m  
 $\Delta t$  = selang waktu dalam s  
 $\vec{v}$  = kecepatan rata-rata dalam m/s

## Kegiatan 2.2

Diskusikan pertanyaan berikut bersama kelompok Anda!

Dari gambar (a) dan (b) pada kegiatan 2.1 tentukan kelajuan rata-rata dan kecepatan rata-rata jika waktu tempuh dari kota A ke kota C 0,5 jam.

Gambar kegiatan 2.1(a)  $v = \dots\dots\dots$

$\vec{v} = \dots\dots\dots$

Gambar kegiatan 2.1(b)  $v = \dots\dots\dots$

$\vec{v} = \dots\dots\dots$

Buatlah Kesimpulan!

### b. Kelajuan sesaat dan kecepatan sesaat

Kelajuan sesaat adalah kelajuan rata-rata yang waktu tempuhnya mendekati nol. Kecepatan sesaat adalah kecepatan rata-rata yang selang waktunya mendekati nol.

Dari persamaan (2):

$$\vec{v} = \frac{\vec{\Delta s}}{\Delta t}, \quad v \text{ disebut kelajuan atau kecepatan sesaat jika } \Delta t \text{ mendekati nol.}$$

Kelajuan atau kecepatan sesaat didefinisikan juga sebagai kelajuan atau kecepatan benda pada saat tertentu.

### c. Percepatan dan Perlajuan

Tiap benda yang bergerak dengan kecepatan berubah (bertambah atau berkurang) disebut mengalami percepatan. Untuk melakukan perubahan kecepatan, benda yang bergerak memerlukan waktu.

Percepatan rata-rata adalah perubahan kecepatan tiap satuan waktu. Percepatan rata-rata secara matematis ditulis sebagai berikut.

$$\vec{a} = \frac{\vec{\Delta v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_t - \vec{v}_0}{t} \quad \dots (3) \quad \text{dengan} \quad \vec{\Delta v} = \text{perubahan kecepatan dalam m/s}$$

$\vec{v}_t$  = kecepatan awal dalam m/s

$\vec{v}_0$  = kecepatan akhir dalam m/s

$\vec{a}$  = percepatan dalam m/s<sup>2</sup>

$\Delta t = t$  = selang waktu

Perlajuan merupakan nilai atau harga dari percepatan. Percepatan merupakan besaran vektor, sedangkan perlajuan merupakan besaran skalar.

Percepatan sesaat adalah perubahan kecepatan yang berlangsung dalam waktu singkat.

Dari persamaan (3):

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}, \text{ jika } \Delta t \text{ mendekati nol maka } \vec{a} \text{ dinamakan percepatan sesaat.}$$

Dari seluruh kegiatan belajar mengajar pada kompetensi dasar tersebut di atas rangkumlah persamaan-persamaan yang diperoleh!

#### 4. Gerak Lurus Beraturan (GLB)

Gerak lurus beraturan didefinisikan sebagai gerak suatu benda pada garis lurus dengan kecepatan tetap. Maksud dari kecepatan tetap adalah benda menempuh jarak yang sama untuk selang waktu yang sama. Misalnya sebuah mobil bergerak dengan kecepatan tetap 60 km/jam, artinya tiap 1 jam mobil menempuh jarak 60 km, tiap  $\frac{1}{2}$  jam mobil menempuh jarak 30 km, atau tiap 1 menit mobil menempuh jarak 1 km.

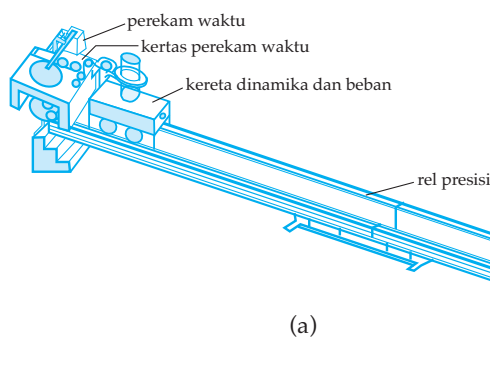
Gerakan seperti itu dalam kehidupan sehari-hari sangat sulit dipraktikkan sehingga sering dikatakan bahwa GLB itu adalah gerak ideal.

Pada kegiatan ini kita akan mengadakan percobaan GLB.



##### Percobaan 2.1: Gerak lurus beraturan

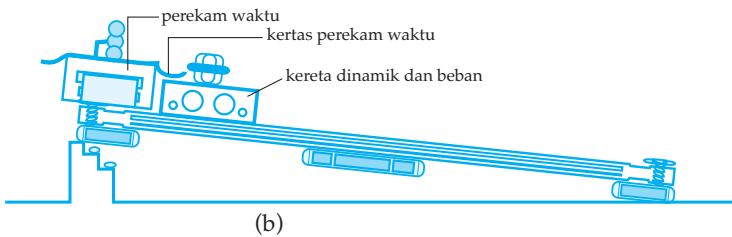
Pasang kereta dinamika yang dilengkapi beban seberat 50 gram beserta alat-alat yang lain seperti gambar (a). Hubungkan catu daya ke sumber listrik (PLN) dan pilih tegangan pada catu daya 12 volt AC/DC. Hubungkan kabel perekam waktu ke catu daya. Hidupkan perekam waktu dan atur baut pengatur ketukan agar perekam waktu dapat bekerja secara baik!



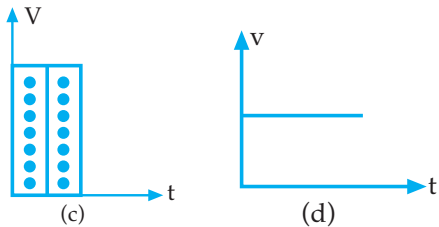
Letakkan balok bertingkat di dekat ujung rel kiri presisi, pegang kereta, kemudian angkat ujung kiri rel presisi untuk diletakkan pada tangga pertama balok bertingkat (lihat gambar (b)). Kereta tetap dipegang agar tidak meluncur (merapat pada perekam waktu)

Bersamaan dengan menghidupkan perekam waktu, lepaskan kereta agar menjauhi perekam waktu (boleh sedikit di dorong). Pada saat kereta menyentuh tumpukan berpenjepit/berhenti, matikan perekam waktu. Keluarkan kertas perekam dan amati jarak titik data. Bila jaraknya semakin jauh/dekat berarti kereta tidak bergerak lurus beraturan!

Dengan mengubah (menaikkan/menurunkan) posisi ujung rel presisi, ulangi langkah di atas, sampai pada kertas perekam waktu dihasilkan titik-titik data yang jaraknya relatif sama. Potonglah kertas-kertas perekam waktu sepanjang 5 titik data. Susunlah potongan-potongan kertas perekam secara berjajar pada hasil pengamatan!



Atur susunan kertas seperti gambar berikut. Panjang potongan kertas menggambarkan (mewakili) vektor kecepatan. Tarik garis melewati titik-titik data teratas dari potongan kertas waktu kemudian buatlah kesimpulan dari percobaan di atas!

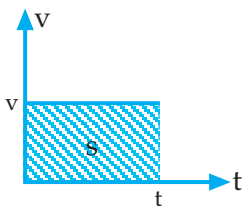


Panjang kertas perekam per jumlah titik hasil rekaman dapat menyatakan kecepatan gerak benda. Dari grafik gambar (c) di samping terlihat bahwa kecepatan pada gerak lurus beraturan (GLB) adalah tetap.

Dengan demikian grafik hubungan kecepatan ( $v$ ) terhadap waktu dapat digambarkan seperti grafik (d).

#### Jarak yang ditempuh pada GLB

Untuk menghitung jarak yang ditempuh ( $s$ ) pada GLB menggunakan grafik hubungan  $v$  dan  $t$  atau bentuk persamaan:



Jarak yang ditempuh = luas daerah yang diarsir

atau  $s = v \cdot t$

$s$  = jarak (m)

$v$  = kecepatan (m/s)

$t$  = waktu (s)

## 5. Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)

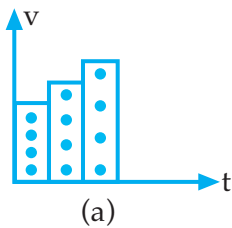
Seringkali selama pergerakannya, kecepatan sebuah benda misalnya sepeda motor berubah baik besar maupun arahnya ataupun keduanya. Dikatakan bahwa benda mengalami percepatan. Pada suatu ketika jalannya diperlambat pada saat direm atau gasnya diturunkan dan dipercepat pada saat gasnya dinaikkan. Pergerakan seperti ini disebut sebagai Gerak Berubah Beraturan (GBB).

Gerak lurus berubah beraturan (GLBB) didefinisikan sebagai gerak benda pada lintasan lurus dan kecepatan, berubah secara teratur.

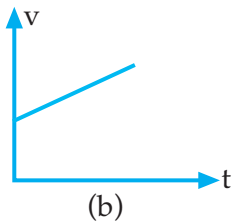
Untuk lebih mempermudah memahami GLBB marilah kita mengadakan percobaan tentang GLBB. Pada umumnya kita sering melakukan GLBB meskipun dalam waktu singkat. Oleh karena begitu dekatnya GLBB dengan kita mempelajari GLBB menjadi cukup mudah. Mari kita buktikan.

### Percobaan 2.2: Gerak lurus berubah beraturan

*Pada dasarnya percobaan GLBB hampir sama dengan percobaan GLB. Perbedaannya adalah pada percobaan GLBB sudut kemiringan rel presisi terhadap bidang datar diperbesar. Dengan demikian, hasil rekaman titik-titik pada kertas perekam setelah dipotong-potong dengan jumlah titik yang sama terlihat seperti gambar (a) berikut.*

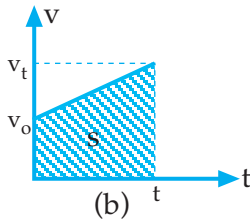


Grafik hubungan kecepatan ( $v$ ) terhadap waktu ( $t$ ) pada GLBB seperti tampak pada gambar (b) berikut.



### Jarak yang ditempuh pada GLBB

Analog dengan GLB, jarak yang ditempuh pada GLBB dapat dicari dengan menghitung luas atau dengan bentuk persamaan berikut.



Jarak yang ditempuh = Luas daerah yang diarsir

$s$  = luas trapesium

$$s = \frac{1}{2}t(v_t + v_o) \Rightarrow v_t = v_o + at$$

$$s = \frac{1}{2}t(2v_o + at)$$

$$s = v_o \cdot t + \frac{1}{2}at^2$$

$s$  = jarak (m)

$v_o$  = kecepatan mula-mula (m/s)

$v_t$  = kecepatan setelah  $t$  (m/s)

$a$  = percepatan (m/s<sup>2</sup>)

$t$  = waktu (s)

### Macam gerak lurus berubah beraturan

GLBB ada dua macam, yaitu GLBB dipercepat ( $a > 0$ ) dan GLBB diperlambat ( $a < 0$ )

#### Contoh Soal 2.1

1. Sebuah benda melakukan gerak lurus beraturan dengan kecepatan 5 m/s. Berapakah jarak yang ditempuh benda tersebut selama 2 menit.

Jawab:

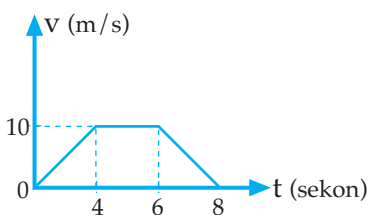
$$v = 5 \text{ m/s}$$

$$t = 2 \text{ menit} = 120 \text{ sekon}$$

$$s = v \cdot t$$

$$s = 5 \cdot 120 = 600 \text{ m}$$

2.



Sebuah titik partikel melakukan gerak dengan grafik hubungan kecepatan ( $v$ ) terhadap waktu ( $t$ ) seperti terlihat pada gambar di samping.

- a. Jelaskan gerakan titik partikel selama 8 sekon!
- b. Berapakah jarak yang ditempuh titik partikel selama 8 sekon tersebut?

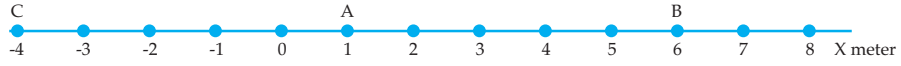


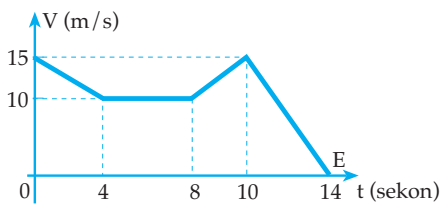
Jawab:

- a. 4 sekon pertama GLBB dipercepat dengan:  $v_0 = 0$ ;  $v_t = 10 \text{ m/s}$ ;  $a = 2,5 \text{ m/s}^2$   
2 sekon kedua GLB dengan  $v = 10 \text{ m/s}$   
2 sekon ketiga GLBB diperlambat dengan:  $v_0 = 10 \text{ m/s}$ ;  $v_t = 0$ ;  $a = -5 \text{ m/s}^2$
- b.  $s = \text{luas I} + \text{luas II} + \text{luas III}$   
 $s = (\frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 10) + (2 \cdot 10) + (\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 10)$   
 $s = 20 + 20 + 10 = 50 \text{ m}$

## Uji Pemahaman 2.1

Kerjakan soal berikut!

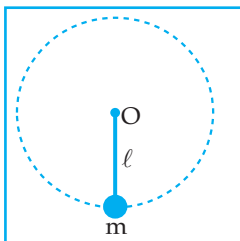
1.  Sebuah benda bergerak pada sumbu x mulai dari titik A berpindah ke titik B selama 10 sekon, kemudian berpindah ke titik C selama 20 sekon. Hitunglah:
- jarak yang ditempuh benda selama itu
  - kelajuan rata-rata dari benda selama itu
  - perpindahan benda selama itu
  - kecepatan rata-rata benda selama itu.
2. Sebuah benda mula-mula bergerak dengan kecepatan  $15 \text{ m/s}$ , kemudian mengikuti grafik di bawah ini.



Dari grafik di samping

- Jelaskan dari gerakan benda tersebut!
- Berapakah jarak yang ditempuh benda selama perjalanannya (gunakan cara hitungan luas dan rumus)?

## B. GERAK MELINGKAR



Keterangan:

O = titik pusat lingkaran

$\ell$  = panjang tali penggantung

m = massa benda

Benda digantung dengan tali diputar pada bidang vertikal

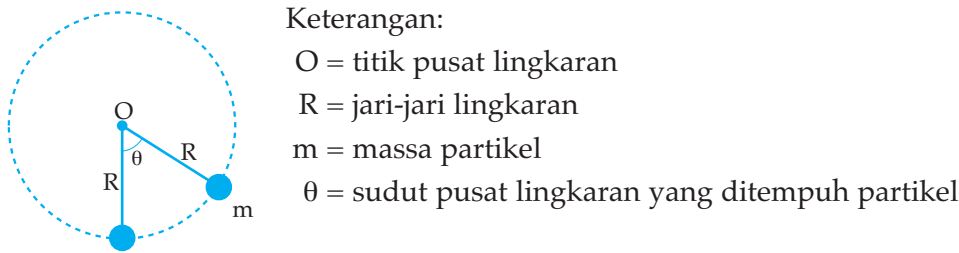
Gambar 2.2 Gerak melingkar

Gambar 2.2, sebuah benda yang digantung dengan tali dan diputar pada bidang vertikal. Ternyata lintasan yang dilalui oleh benda adalah lintasan melingkar. Gerak sebuah benda dengan lintasan berbentuk lingkaran disebut gerak melingkar.

Kegiatan 2.3

Sebutkan empat buah benda yang melakukan gerak melingkar!

Untuk memahami persamaan-persamaan benda yang melakukan gerak melingkar, perhatikan uraian berikut!



Gambar 2.3 Gerak melingkar

Gambar 2.3 sebuah partikel dengan massa m melakukan gerak melingkar dengan jari-jari R.

Selama partikel melakukan gerak melingkar, posisinya selalu berubah.

Misalnya partikel tersebut bergerak melingkar dengan jari-jari 10 cm dan setiap sekon dapat menempuh sudut 0,1 radian maka posisi partikel setiap saat dapat dilihat pada tabel.

Waktu (sekon)	Sudut yang ditempuh (radian)	Jari-jari (cm)	Posisi partikel
0	0	10	(10 cm, 0)
1	0,1	10	(10 cm ; 0,1 rad)
2	0,2	10	(10 cm ; 0,2 rad)
3	0,3	10	(10 cm ; 0,3 rad)
4	0,4	10	(10 cm ; 0,4 rad)

Cara menyatakan posisi partikel tersebut disebut cara koordinat polar.

Secara umum, posisi partikel yang melakukan gerak melingkar dapat dinyatakan dengan koordinat polar:

$r = (R, \theta)$

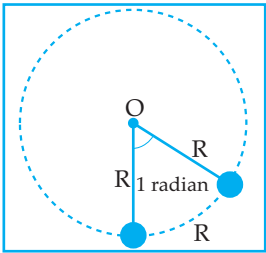
r = posisi partikel yang melakukan gerak melingkar

R = jari-jari (satuan dalam S.I adalah meter)

$\theta$  = sudut yang ditempuh (satuan dalam S.I adalah radian)

# 1. Pengertian Sudut 1 Radian

Sudut 1 radian adalah sudut pusat lingkaran dengan panjang busur lingkaran sama dengan jari-jari lingkaran.



Gambar 2.4 Sudut 1 radian

Dari gambar 2.4 di dapat  $2\pi \text{ radian} = 360^\circ$

$$1 \text{ radian} = \frac{360^\circ}{2\pi} = \frac{360^\circ}{6,28}$$

$$1 \text{ radian} = 57,32^\circ$$

Selama benda melakukan gerak melingkar, maka kecepatan benda selalu berubah-ubah. Bagaimanakah arah kecepatan dari benda yang melakukan gerak melingkar?

Untuk itu lakukan percobaan berikut!



## Percobaan 2.3: Gerak melingkar

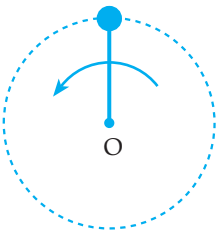
Gantungkan benda dengan tali OA yang panjangnya 1 meter. Pegang ujung O dengan tangan dan putarlah benda, sehingga benda berputar pada bidang vertikal dengan pusat perputaran di titik O!

Setelah beberapa saat benda berputar dan pada saat posisi benda di tempat tertinggi, lepaskan tali dari tangan, serta perhatikan arah gerak benda pada saat tali terlepas dari tangan!

Diskusikan dengan teman-teman Anda tentang arah gerak benda sesaat tali terlepas dari tangan, dan gambarlah arah kecepatan benda tersebut pada gambar di bawah.

a. Arah kecepatan benda sesaat tali terlepas dari tangan.

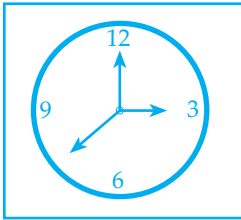
b.



Apakah yang dapat Anda simpulkan dari percobaan tersebut?

## 2. Gerak Melingkar Beraturan

### a. Pengertian Gerak Melingkar Beraturan



Gambar 2.5 Gerak jarum jam

Apabila kita perhatikan gerakan ujung jarum detik pada arloji, ternyata ujung jarum tersebut melakukan gerak melingkar dimana dalam selang waktu yang sama panjang lintasan yang ditempuh oleh ujung jarum (yang berupa busur lingkaran) adalah sama. Gerak seperti itu disebut *Gerak Melingkar Beraturan*.

Dari penjelasan ini dapat disimpulkan sebagai berikut.

- 1) *Gerak Melingkar Beraturan* adalah gerak yang lintasannya berupa lingkaran dan tiap satuan waktu menempuh busur lingkaran yang sama panjangnya.
- 2) *Gerak Melingkar Beraturan* adalah gerak yang lintasannya berupa lingkaran dan besar kecepatan (kelajuannya) selalu tetap.

### b. Besaran-besaran pada gerak melingkar beraturan

#### 1) Periode dan Frekuensi

Dalam gerak melingkar, baik gerak yang beraturan maupun yang tidak beraturan geraknya akan selalu berulang seperti sebuah getaran. Perhatikan sebuah titik pada gerakannya, setelah ia melakukan satu putaran penuh titik itu akan kembali pada posisi semula. Waktu yang diperlukan oleh titik itu untuk melakukan satu kali putaran penuh di sebut *periode*. Adapun banyaknya putaran tiap detik disebut *frekuensi*, sehingga persamaan untuk periode:

$$T = \frac{t}{N} \text{ dan persamaan untuk frekuensi } f = \frac{N}{t} \text{ dan hubungan antara } T \text{ dan } f$$

dinyatakan dengan  $T = \frac{1}{f}$

Keterangan:

$T$  = periode (sekon)

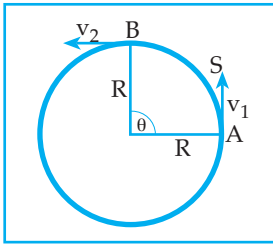
$f$  = frekuensi (Hz)

$N$  = jumlah putaran

$t$  = waktu selama berputar (sekon)

#### 2) Kelajuan Linier

Kelajuan linier pada gerak melingkar beraturan dapat didefinisikan sebagai jarak yang ditempuh dibagi waktu tempuhnya atau keliling lingkaran di bagi periode gerak benda.



Gambar 2.6  
Kelajuan linier

Diketahui bahwa panjang busur untuk satu lingkaran penuh sama dengan keliling lingkaran  $= 2\pi R$ , sedangkan waktu yang diperlukan untuk menempuh satu lingkaran penuh sama dengan periode (T)

Besarnya kelajuan linier:

$$v = \frac{\text{panjang subur}}{\text{selang waktu}} = \frac{S}{\Delta t} = \frac{2\pi R}{T}$$

$$v = \frac{2\pi R}{T}$$

$v$  = laju linier benda (m/dt)  
 $R$  = jari-jari perputaran (m)  
 $T$  = periode putaran (s)

### 3) Kecepatan Sudut (Anguler)

Gerak partikel dari A ke B selama  $t$  detik menempuh busur AB dan jari-jari arah OA menempuh sudut  $\theta^\circ$ , sehingga jari-jari arah OA memiliki apa yang disebut *kecepatan sudut* ( $\omega = \text{omega}$ ).

Jari-jari arah OA selama:

- $t$  detik menempuh sudut  $\theta^\circ$
- $T$  detik menempuh sudut  $360^\circ = 2\pi$  radian

Apabila waktu yang diperlukan untuk satu kali putaran penuh adalah  $T$  dan busur (sudut) yang di lewati  $360^\circ$ , maka besarnya kecepatan sudut:

$$\omega = \frac{360^\circ}{T} \quad \text{atau} \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

$\omega$  = kecepatan sudut (rad/sekon)  
 $T$  = periode (sekon)

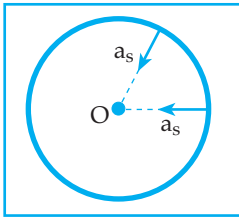
### Hubungan antara laju linier dengan kecepatan sudut

Dari rumus laju linier  $v = \frac{2\pi R}{T}$  dan rumus kecepatan sudut  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  maka

diperoleh hubungan:  $v = \frac{2\pi R}{T}$  atau  $v = \omega \cdot R$

### 4) Gaya sentripetal

Pada gerak melingkar beraturan, walaupun kelajuan liniernya tetap  $v_1 = v_2$  tetapi kecepatannya selalu berubah ( $\vec{v}_1 \neq \vec{v}_2$ ) (gambar (2.7)). Dengan demikian pada gerak melingkar beraturan terdapat percepatan yang disebut percepatan sentripetal dan diberi lambang  $a_s$  yaitu percepatan yang arahnya selalu menuju titik pusat lingkaran.



Titik O = titik pusat lingkaran

$$\text{Besar percepatan sentripetal} = a_s = \frac{v^2}{R} = \omega^2 \cdot R$$

Gambar 2.7 Gaya sentripetal

Jika massa partikel yang melakukan gerak melingkar =  $m$ , maka gaya yang menimbulkan percepatan sentripetal disebut gaya sentripetal yang diberi lambang ( $F_s$ ) yaitu: gaya yang arahnya selalu menuju titik pusat lingkaran.

Berdasarkan Hukum II newton:

$$F_s = m \cdot a_s = m \cdot \frac{v^2}{R} = m \cdot \omega^2 \cdot R$$

$F_s$  = gaya sentripetal (N)

$m$  = massa (kg)

$a_s$  = percepatan sentripetal ( $m/s^2$ )

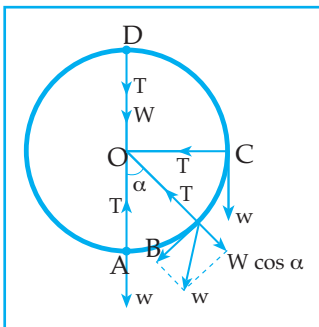
$v$  = kelajuan linier ( $m/s$ )

$\omega$  = kecepatan sudut ( $rad/s$ )

$R$  = jari-jari (m)

### Beberapa contoh penerapan gaya sentripetal

- a. Benda digantung dengan tali diputar dengan arah vertikal.



di titik A:  $F_s = T - W$

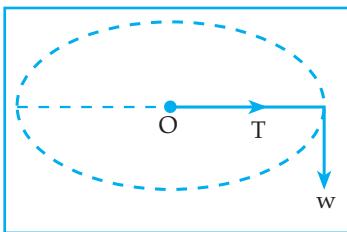
di titik B:  $F_s = T - W \cdot \cos \alpha$

di titik C:  $F_s = T$

di titik D:  $F_s = T + W$

Gambar 2.8 Gaya sentripetal vertikal

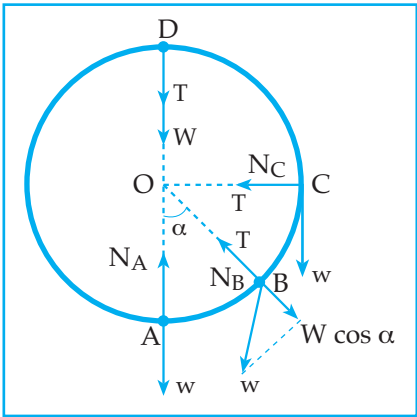
- b. Benda digantung dengan tali diputar dengan arah horizontal.



$$F_s = T$$

Gambar 2.9 Gaya sentripetal horizontal

c. Benda bergerak di dalam bidang lingkaran vertikal.



di titik A:  $F_S = N_A - W$

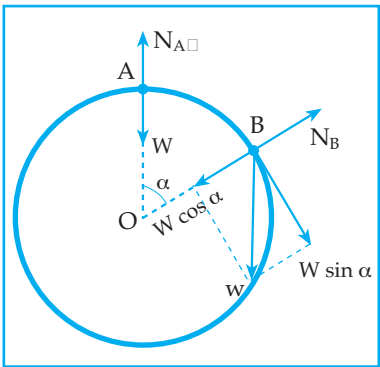
di titik B:  $F_S = N_B - W \cos \alpha$

di titik C:  $F_S = N_C$

di titik D:  $F_S = N_D + W$

Gambar 2.10 Gaya sentripetal pada bidang vertikal

d. Benda bergerak di luar bidang lingkaran vertikal.

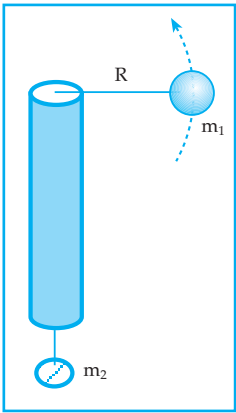


di titik A:  $F_S = W - N_A$

di titik B:  $F_S = W \cos \alpha - N_B$

Gambar 2.11 Gaya sentripetal di luar bidang lingkaran vertikal

e. Alat sentrifugal

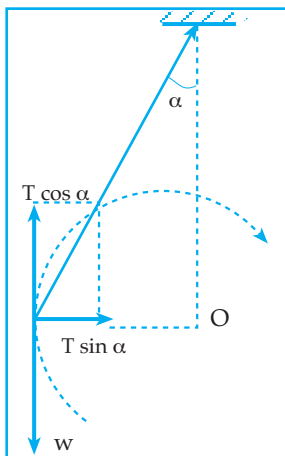


$$F_S = m_2 \cdot g$$

$$F_S = m_1 \cdot \omega^2 \cdot R$$

Gambar 2.12 Alat sentrifugal

f. Ayunan konis

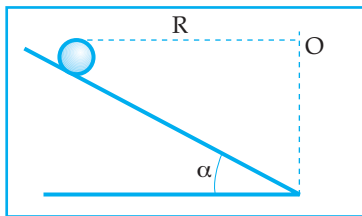


$$F_s = T \cdot \sin \alpha$$

$$W = T \cos \alpha$$

Gambar 2.13 Ayunan konis

- g. Benda bergerak pada tikungan miring.  
Kecepatan maksimum yang diperbolehkan.



$$v = \sqrt{g \cdot R \cdot \tan \alpha}$$

$R$  = jari-jari lingkaran.

$\alpha$  = sudut kemiringan jalan.

Gambar 2.14 Gerak pada tikungan miring

**Contoh Soal 2.2**

1. Sebuah titik partikel melakukan gerak melingkar beraturan dengan jari-jari lintasan 20 cm. Dalam waktu 5 sekon mampu berputar 100 putaran. Tentukan:
  - a. frekuensi putarannya
  - b. kecepatan sudutnya
  - c. posisi titik partikel pada saat  $t = 0,01$  sekon

Penyelesaian:

Diketahui:  $R = 20$  cm

$t = 5$  sekon

$N = 100$  putaran

Ditanya: a.  $f$

b.  $\omega$

c.  $r$



Jawab:

$$\begin{aligned} \text{a. } f &= \frac{N}{t} \\ f &= \frac{100}{5} = 20 \text{ Hz} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } \omega &= 2\pi f \\ &= 2 \times 3,14 \times 20 \\ &= 125,6 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. } \theta &= \omega \cdot t \\ \theta &= 125,6 \times 0,01 \\ \theta &= 1,256 \text{ radian} \\ r &= (R, \theta) \\ r &= (20 \text{ cm}; 1,256 \text{ rad}) \end{aligned}$$

2. Dengan bantuan benang yang panjangnya 1 m, sebuah benda yang massanya 200 gram diputar dengan laju tetap  $4 \text{ ms}^{-1}$ . Benang mampu menahan gaya 5 N sebelum putus. Tentukan:

- percepatan sentripetal,
- tegangan tali, dan
- laju maksimum benda sebelum benang putus

*Penyelesaian:*

Diketahui: gerak melingkar beraturan

$$\begin{aligned} R &= 1 \text{ m} \\ m &= 200 \text{ gram} = 0,2 \text{ kg} \\ v &= 4 \text{ ms}^{-1} \\ t_{\text{maks}} &= 5 \text{ N} \end{aligned}$$

Ditanya: a.  $a_s$

b.  $T$

c.  $v_{\text{maks}}$

Jawab :

$$\text{a. } a_s = \frac{v^2}{R} = \frac{(4)^2}{1} = 16 \text{ ms}^{-2}$$

Percepatan sentripetal benda,  $a_s = 16 \text{ ms}^{-2}$

$$\begin{aligned} \text{b. } F_s &= m \cdot a_s \\ &= (0,2) \cdot (16) = 3,2 \text{ N} \end{aligned}$$

Di sini besar tegangan tali,  $t = F_s = 3,2 \text{ Newton}$

$$\text{c. } T_{\text{maks}} = 5 \text{ N} \longrightarrow F_{s(\text{maks})} = 5 \text{ N}$$

$$a_{s(\text{maks})} = \frac{F_{s(\text{maks})}}{m} = \frac{5}{0,2} = 25 \text{ ms}^{-2}$$

$$a_s = \frac{v^2}{R} \rightarrow v_{\text{maks}} = \sqrt{a_s (\text{maks}) \cdot R}$$

$$= \sqrt{(25)(1)}$$

$$= 5 \text{ ms}^{-1}$$

Laju maksimum benda sebelum benang putus,  $v_{\text{maks}} = 5 \text{ ms}^{-1}$

3. Sebuah kendaraan (massa 1 ton) dengan laju  $36 \text{ km jam}^{-1}$  sedang melintasi bukit kecil yang berbentuk busur lingkaran dengan jari-jari 40 m. Bila  $g = 10 \text{ ms}^{-2}$ , tentukan besar gaya normal yang dialami kendaraan pada saat kendaraan tepat melintasi puncak bukit tersebut!

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $m = 1 \text{ ton} = 1.000 \text{ kg} = 10^3 \text{ kg}$

$$v = 36 \text{ km jam}^{-1} = \frac{(36)(1000)}{(60)(60)\text{s}} = 10 \text{ ms}^{-1}$$

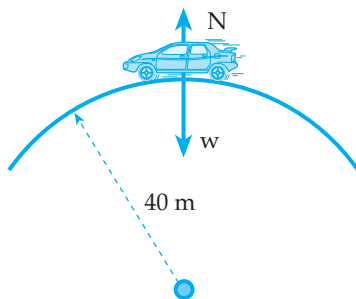
$$R = 40 \text{ m}$$

$$G = 10 \text{ ms}^{-1}$$

Ditanya:  $N = \dots?$

Jawab :

Sepanjang melintasi bukit, kendaraan melakukan gerak melingkar beraturan. Di saat berada di titik puncak bukit, berlaku  $F_s = \omega - N$



Sesuai dengan hukum II Newton,

$$F_s = ma_s$$

$$W - N = m \frac{v^2}{R}$$

$$(mg) - N = m \frac{v^2}{R}$$

$$(10)^3(10) - N = (10)^3 \frac{(10^2)}{40}$$

$$10 \times 10^3 - N = 2,5 \times 10^3$$

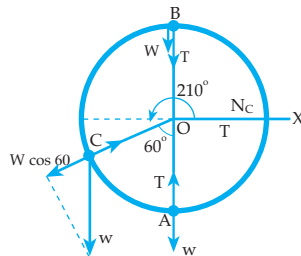
$$N = (10 - 2,5)10^3$$

$$= 7,5 \times 10^3 \text{ N}$$

Gaya normal di puncak bukit,  $N = 7,5 \times 10^3 \text{ Newton}$ .

4. Sebuah benda  $m = 200$  gram diikat dengan tali yang panjangnya  $1$  m, kemudian diputar vertikal dengan kelajuan tetap  $v = 4 \text{ ms}^{-1}$ . Hitung tegangan tali saat benda berada
- di titik terbawah (A),
  - di titik tertinggi (B), dan
  - di titik (c) bersudut  $210^\circ$  terhadap sumbu X positif ( $g = 10 \text{ ms}^{-2}$ )

Penyelesaian:



Diketahui:  $m = 200 \text{ gram} = 0,2 \text{ kg}$

$R = 1 \text{ m}; v = 4 \text{ ms}^{-1}; g = 10 \text{ ms}^{-2}$

Ditanya: Tegangan tali di:

- titik terbawah
- titik tertinggi
- titik bersudut  $210^\circ$  terhadap sumbu x positif

Jawab:

- a. Di titik terbawah A

$$F_s = m \frac{v^2}{R}$$

$$T - w = 0,2 \cdot \frac{16}{1}$$

$$T - 2 = 8$$

$$T = 10 \text{ Newton}$$

- b. Di titik tertinggi B

$$T + w = 8$$

$$T + 2 = 8$$

$$T = 6 \text{ newton}$$

- c.  $T - w \cos 60 = 8$

$$T - 2 \cdot 0,5 = 8$$

$$T = 9 \text{ Newton}$$

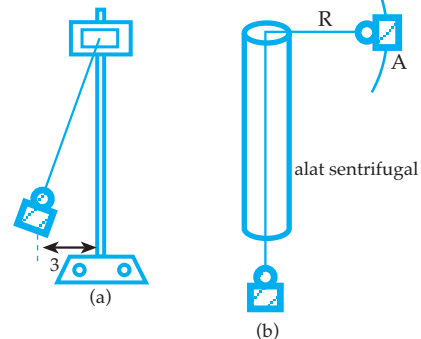
#### Percobaan: 2.4: Gerak melingkar beraturan



Gantungkan beban  $100$  gram dengan benang yang panjangnya  $1$  meter pada statif (gambar (a)). Simpangkan beban  $3 \text{ cm}$  dari titik setimbang, kemudian lepaskan beban tersebut, sehingga beban berayun. Hitunglah waktu yang diperlukan untuk  $10$  ayunan menggunakan stopwatch  $t = \dots$  sekon. Hitung periode ayunan:  $T = \frac{t}{10} \dots \dots \dots$  sekon.

Hitung percepatan gravitasi:  $g = \frac{4\pi^2 \cdot \ell}{T^2} \dots \text{ m/s}^2$

Di mana  $\pi^2 = 10$



Rangkailah alat sentrifugal (gambar b) dengan  $m_A = 25 \text{ gram}$  ;  $m_B = 50 \text{ gram}$ . Putarlah beban A, sedemikian hingga sistem setimbang dan hitunglah waktu yang diperlukan oleh benda A untuk 10 putaran, kemudian hentikan gerakan benda A dan ukurlah panjang tali (R)

$t = \dots\dots\dots \text{sekon}$  dan  $T = \dots\dots\dots \text{sekon}$

$R = \dots\dots\dots \text{meter}$

Ulangi kegiatan (7); gantilah massa beban B dengan 100 gram ( $m_B = 100 \text{ gram}$ ) dan masukkan data yang Anda peroleh pada tabel berikut!

No.	$m_A$ (kg)	$m_B$ (kg)	$\left(\frac{m_A}{m_B}\right) \cdot g$ (m/s <sup>2</sup> )	R	T	$\left(\frac{4\pi^2}{T^2}\right) \cdot R$
1.	0,025	0,050	.....	.....	.....	.....
2.	0,025	0,100	.....	.....	.....	.....

Bagaimanakah nilai dari  $\left(\frac{m_A}{m_B}\right) \cdot g$  dan nilai dari  $\left(\frac{4\pi^2}{T^2}\right) \cdot R$ ?

**Informasi:**

$\left(\frac{4\pi^2}{T^2}\right) \cdot R$  adalah nilai percepatan sentripetal benda A selama melakukan gerak melingkar beraturan.

Tulis kesimpulan yang Anda dapatkan dari percobaan tersebut!

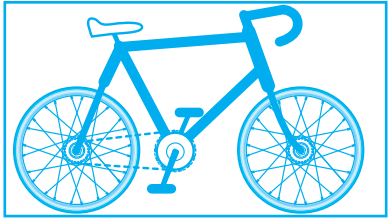
**Uji Pemahaman 2.2**  
**Kerjakan soal berikut!**

- Pada sepeda gunung terdapat beberapa buah gir belakang (gir kecil, gir sedang, dan gir besar)
  - Agar Anda dapat mengayuh sepeda tersebut dengan cepat, gir belakang manakah yang Anda gunakan dan dampak apakah yang timbul pada kelajuan sepeda?
  - Jika Anda melaju pada jalan tanjakan, gir belakang manakah yang Anda gunakan dan dampak apakah yang timbul pada kelajuan sepeda?
- Roda A dengan jari-jari 5 cm dan Roda B dengan jari-jari 20 cm saling bersinggungan. Titik P berada pada tepi roda A dan titik Q beda pada tepi roda B. Jika roda B berputar 10 kali, maka:
  - Berapa kalikah roda A berputar
  - Berapakah jarak yang ditempuh oleh titik P dan titik Q selama itu?

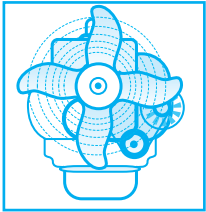
5) *Perpindahan gerak melingkar*

Gambar 2.15 (a) menunjukkan, apabila pedal sepeda diputar, maka gir depan akan berputar. Hal ini mengakibatkan gir belakang dan roda sepeda ikut berputar. Peristiwa ini dinamakan *perpindahan gerak*. Hal semacam itu banyak dijumpai terutama pada teknologi mesin, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.15 (b).

Apabila diperhatikan perpindahan gerak dapat dibedakan sebagai berikut.



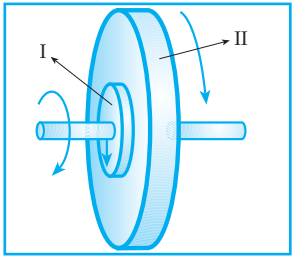
(a) gir sepeda



(b) kipas pendingin mesin mobil

Gambar 2.15

a) *Perpindahan gerak satu poros*



Gambar 2.16

*Perpindahan gerak satu poros*

Perhatikan Gambar 2.16. Kedua roda memiliki period ( $T$ ) dan frekuensi ( $f$ ) sama.

$$T_1 = T_2 \text{ dan } f_1 = f_2$$

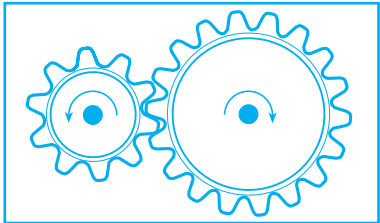
Dengan demikian, kedua roda mempunyai kecepatan angular sama.

$$\omega_1 = \omega_2$$

$$\frac{v_1}{R_1} = \frac{v_2}{R_2} \text{ atau } v_1 : v_2 = R_1 : R_2$$

Dari rumus itu tampak bahwa laju liniernya berbanding lurus dengan jari-jarinya.

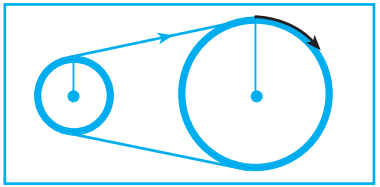
b) *Perpindahan gerak langsung dan tak langsung*



Gambar 2.17 *Perpindahan gerak langsung*

Apabila kedua roda memiliki jari-jari yang tidak sama, kemudian gesekan antara permukaan roda cukup baik sehingga tidak terjadi selip, kedua roda memiliki periode ( $T$ ) dan frekuensi ( $f$ ) tidak sama.

$$T_1 \neq T_2 \text{ dan } f_1 \neq f_2$$



Gambar 2.18

*Perpindahan gerak tak langsung*

Dalam hal ini kecepatan angularnya tidak sama ( $\omega_1 \neq \omega_2$ ), tetapi mempunyai laju linier sama sehingga dapat ditulis:

$$v_1 = v_2$$

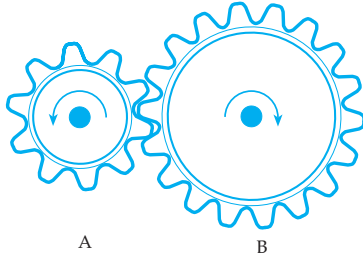
$$\omega_1 \cdot R_1 = \omega_2 \cdot R_2 \text{ atau } \boxed{\omega_1 : \omega_2 = R_2 : R_1}$$

Rumus di atas menunjukkan bahwa:

Kecepatan sudutnya berbanding terbalik dengan jari-jarinya.  
(Makin kecil jari-jarinya, kecepatan sudutnya makin besar).

### Contoh Soal 2.3

1)



Dua roda A dan B mempunyai jari-jari 6 cm dan 12 cm. Apabila periode A = 0,1 sekon dan banyaknya gigi roda A 30 buah, hitung:

- frekuensi roda B dan
- banyaknya gigi roda B!

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $R_A = 6 \text{ cm}$   $f_A = 10 \text{ Hz}$

$R_B = 12 \text{ cm}$   $n_A = 30$

$T_A = 0,1 \text{ s}$

Ditanya: a)  $f_B$  b)  $n_B$

Jawab :

a) Di sini berlaku

$$\frac{2\pi R_A}{T_A} = \frac{2\pi R_B}{T_B}$$

$$2R_A \cdot f_A = 2R_B \cdot f_B$$

$$6 \cdot 10 = 12 \cdot f_B$$

$$f_B = 5 \text{ Hz}$$

b)  $f_A : f_B = n_B : n_A$

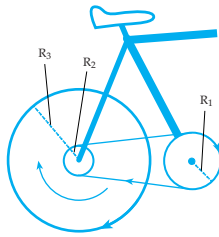
$$10 \cdot 5 = n_B : 30$$

$$n_B = 60 \text{ buah}$$

2) Seorang siswa mengayuh sepeda sehingga roda gir dapat berputar dengan kecepatan sudut 10 rad s<sup>-1</sup>. Jika jari-jari gir depan, gir belakang, dan roda belakang sepeda masing-masing 10 cm, 5 cm dan 40 cm, tentukan:

- kecepatan sudut gir belakang, dan
- kecepatan gerak sepeda.

Penyelesaian:



Diketahui:

$$\omega = 10 \text{ rad s}^{-1}$$

$$R_2 = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$$

$$R_1 = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$$

$$R_3 = 40 \text{ cm} = 0,4 \text{ m}$$

Ditanya: a.  $\omega_2$

b.  $v_{\text{sepeda}}$

Jawab:

a) Kedua gir dihubungkan oleh rantai (tak seporos).

$$\omega_1 : \omega_2 = R_2 : R_1$$

$$\omega_2 = \frac{\omega_1 R_1}{R_2} = \frac{(10)(0,1)}{(0,05)} = 20 \text{ rad s}^{-1}$$

Kecepatan angular gir belakang  $\omega_2 = 20 \text{ rad s}^{-1}$

b) Gir belakang seporos dengan roda belakang sepeda.

$$\omega_3 = \omega_2$$

$$\frac{v_3}{R_3} = 20$$

$$v_3 = 20 \cdot 0,4$$

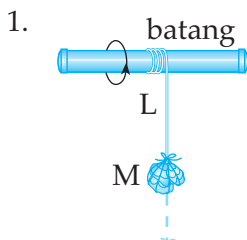
$$v_3 = 8 \text{ ms}^{-1}$$

Kecepatan gerak sepeda = kecepatan linier roda belakang sepeda

$$v_3 = 8 \text{ ms}^{-1}$$

### Uji Pemahaman 2.3

Kerjakan soal berikut!



Sebuah beban dengan massa  $m$  digantung menggunakan tali sepanjang  $L$  yang diikatkan pada batang. Beban diputar dengan sumbu putar pada batang. Selama beban berputar panjang tali terus bekurang. Jika pada saat panjang tali  $= L$ , kecepatan sudut beban  $= \omega$  dan kelajuan linearnya  $= v$ , maka tentukan. Kecepatan sudut dan kelajuan linear beban

pada saat panjang tali  $= \frac{1}{2}L$  dan gerakan beban dianggap beraturan.

2. Pada jalan menikung miring licin terdapat tulisan dari rambu-rambu jalan kecepatan  $\text{max} = 40 \text{ km/jam}$ .

a. Apakah arti rambu-rambu bagi kendaraan yang melalui jalan tersebut.

b. Berapakah jari-jari lintasan kendaraan yang melewati jalan tersebut agar kendaraan tidak selip.

## C. HUKUM NEWTON PADA DINAMIKA PARTIKEL

Salah satu dampak yang ditimbulkan oleh suatu gaya yang bekerja pada sebuah benda adalah terjadinya perubahan gerak pada benda tersebut. Mekanika yang mempelajari gerak sebuah partikel yang memperhatikan gaya penyebabnya dinamakan dinamika partikel. Dinamika partikel tertuang dalam Hukum Newton.

### 1. Hukum I Newton

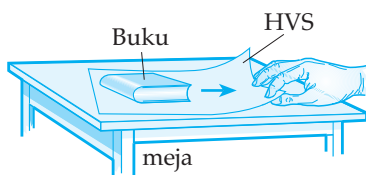
Jika kita sedang naik sebuah bus yang bergerak dengan kelajuan tetap kemudian tiba-tiba direm, tentu kita akan terdorong ke depan. Demikian juga jika kita sedang duduk diam di dalam sebuah bus, kemudian bus digerakkan dengan tiba-tiba, tentu kita akan terdorong ke belakang.

Hal tersebut dapat terjadi karena adanya sifat lembam benda. Apakah sifat lembam benda itu? Untuk itu lakukan percobaan berikut.

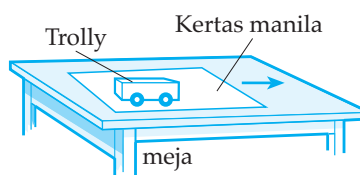
**Percobaan 2.5:** Sifat kelembaman sebuah benda.



Letakkan kertas HVS di atas meja dan letakkan buku tebal di atas kertas HVS, seperti gambar (a). Tarik kertas HVS perlahan-lahan, amati yang terjadi pada buku tebal. Hentikan gerakan kertas HVS. Setelah kertas HVS dan buku tebal berhenti, kemudian tarik kertas HVS dengan cepat dan mendadak. Amati apakah yang terjadi pada buku tebal!



(a)



(b)

Letakkan kertas manila seukuran kertas HVS di atas meja dan letakkan pula kereta luncur (trolley) di atas kertas manila, seperti gambar (b). Tarik kertas manila perlahan-lahan sehingga kereta luncur ikut bergerak bersama-sama kertas manila, kemudian hentikan gerakan kertas manila dengan tiba-tiba. Amati apakah yang terjadi pada kereta luncur!

Tulis kesimpulan yang Anda dapatkan dari percobaan tersebut!

Dari hasil percobaan di atas, ternyata benda yang diam cenderung untuk mempertahankan keadaan diamnya dan benda yang bergerak cenderung mempertahankan keadaan bergeraknya.

Sifat yang dimiliki oleh benda tersebut disebut sifat kelembaman benda, yaitu "Selama tidak ada gaya dari luar yang mempengaruhi benda, benda yang sedang tak bergerak mempertahankan keadaan tak bergeraknya dan



benda yang sedang bergerak mempertahankan keadaan geraknya". Pernyataan tersebut dikenal dengan Hukum I Newton, sehingga Hukum I Newton disebut dengan *Hukum Kelembaman*. Hukum ini dapat juga dinyatakan dengan, "Bila resultan gaya yang bekerja pada benda nol, atau tidak ada gaya yang bekerja pada benda, benda itu diam (tak bergerak) atau akan bergerak lurus beraturan".

Dari pernyataan di atas maka diperoleh syarat berlakunya Hukum I Newton jika  $\Sigma F = 0$ .

2. Hukum II Newton

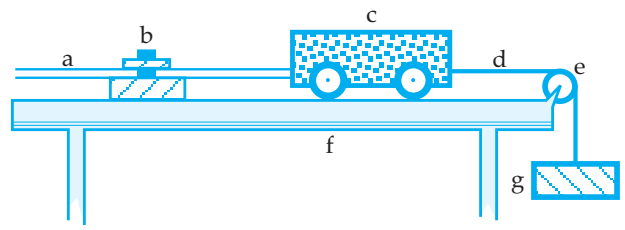
Gaya merupakan penyebab perubahan gerak benda. Perubahan gerak benda yang dimaksudkan di sini dapat berarti perubahan kelajuannya atau perubahan kecepatannya.

Perubahan kecepatan tiap satuan waktu disebut percepatan.

Adakah hubungan antara percepatan yang timbul pada benda dengan gaya yang bekerja pada benda juga dengan massa benda tersebut?

Untuk itu perhatikan hasil percobaan berikut.

Percobaan 2.6: Hukum Newton II

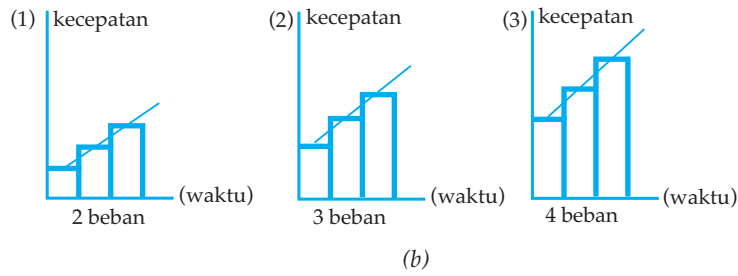


(a)

- Keterangan:
- |                         |                    |
|-------------------------|--------------------|
| $a$ = pita ticker timer | $e$ = katrol       |
| $b$ = ticker timer      | $f$ = papan luncur |
| $c$ = trolley           | $g$ = beban        |
| $d$ = benang            |                    |

Kegiatan I

Rangkailah alat dan bahan seperti gambar (a) di atas. Gunakan 1 trolley dengan beban yang digantung mula-mula 2 buah, kemudian 3 buah dan selanjutnya 4 buah. Pada saat beban dilepas, ticker timer digetarkan maka selama trolley bergerak pada pita ticker timer terekam ketikannya. Potong-potonglah pita ticker timer dengan setiap potongannya mengandung sejumlah ketikan yang sama (misal 10 ketikan). Susunlah seperti gambar berikut.



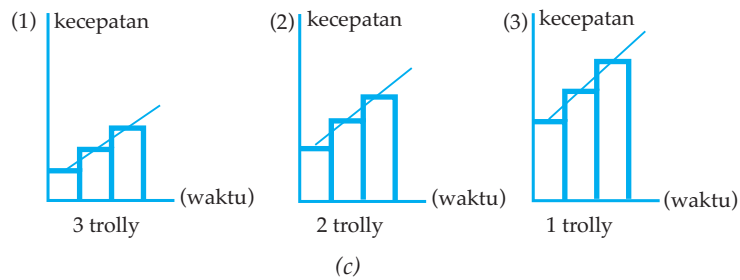
#### Informasi

- 1) Penambahan beban yang digantung berarti penambahan gaya yang bekerja pada trolley
- 2) Besar percepatan yang timbul pada trolley sebanding dengan besar sudut kecondongan grafik.

Dari grafik yang terlihat pada gambar (b), bagaimanakah hubungan antara percepatan yang timbul pada benda dan gaya yang bekerja pada benda? Kemudian nyatakan hubungan antara percepatan dan gayanya!

#### Kegiatan II:

Ulangi langkah kegiatan I tetapi menggunakan beban yang tergantung tetap, sedang jumlah trolley berubah dengan cara menumpuk beberapa trolley. Ternyata dengan menggunakan trolley 3 buah, 2 buah, 1 buah diperoleh grafik seperti terlihat pada gambar (c) berikut.



#### Informasi:

Penambahan jumlah trolley berarti penambahan massa trolley.

Dari grafik yang terlihat pada gambar (c), bagaimana hubungan antara percepatan yang timbul pada benda dengan massa benda tersebut? Kemudian nyatakan hubungan antara percepatan dan massa bendanya!

### Kesimpulan

- a. Dari hasil kegiatan I dan kegiatan II diperoleh hubungan antara percepatan yang timbul pada benda, massa benda dan gaya yang bekerja pada benda

dapat dinyatakan dengan  $a = \frac{F}{m}$  atau  $F = m \cdot a$

$a$  = percepatan ( $m/s^2$ )

$F$  = gaya (N)

$m$  = massa (kg)

Persamaan  $F = m \cdot a$  disebut persamaan Hukum II Newton

- b. Jika pada sebuah benda bekerja beberapa buah gaya, maka persamaan hukum II Newton dapat dinyatakan dengan  $\Sigma F = m \cdot a$
- c. Massa benda yang diperoleh dari perbandingan gaya yang bekerja pada benda dan percepatan yang timbul pada benda disebut massa kelembaman ( $m_K$ )

### 3. Gaya Berat

Jika kita melepaskan sebuah benda dari atas permukaan tanah, maka benda tersebut melakukan gerak lurus berubah beraturan dipercepat dan jika kita melempar sebuah benda vertikal ke atas, maka benda tersebut melakukan gerak lurus berubah beraturan diperlambat. Percepatan yang timbul pada gerakan benda di atas disebut percepatan grafitasi bumi yang diberi lambang  $g$ .

Percepatan grafitasi bumi pada suatu titik yang berjarak  $r$  dari pusat bumi dinyatakan dengan:

$$g = G \frac{M}{r^2}$$

$g$  = percepatan grafitasi bumi ( $m/s^2$ )  
 $G$  = konstanta grafitasi ( $Nm^2/kg^2$ )  
 $M$  = massa bumi (kg)  
 $r$  = jarak titik ke pusat bumi (m)

Percepatan yang timbul pada benda yang melakukan gerak vertikal ke atas dan gerak jatuh bebas tadi dikarenakan adanya gaya tarik bumi pada benda tersebut yang dinyatakan dengan persamaan:

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$

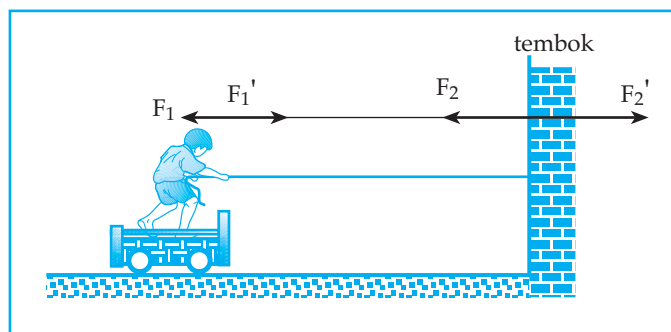
$F$  = gaya tarik bumi terhadap benda  
 $G$  = konstanta grafitasi  
 $M$  = massa bumi  
 $m$  = massa benda  
 $r$  = jarak pusat benda dan pusat bumi

## Kegiatan 2.4

Diskusikan pernyataan berikut bersama kelompok Anda!

1. Tulis kesimpulan yang Anda dapatkan dari persamaan  $g = G \frac{M}{r^2}$  dan  $F = G \frac{Mm}{r^2}$ ?
2. Jika gaya tarik bumi terhadap suatu benda disebut juga dengan gaya berat benda yang diberi lambang  $W$ , maka  $W = \dots\dots$  atau  $g = \dots$
3. Jelaskan hubungan antara percepatan gravitasi, massa benda dan gaya berat benda!
4. Massa benda yang diperoleh dari hasil bagi antara gaya berat dan percepatan gravitasi disebut massa gravitasi maka massa gravitasi dapat dinyatakan dengan  $m = \dots$

## 4. Hukum III Newton



Gambar 2.19 Gaya Aksi-Reaksi

Gambar 2.19 seorang yang naik papan beroda sedang menarik tali yang diikatkan pada tembok.

Ternyata pada saat orang tersebut menarik tali ke arah kiri, orang beserta papan beroda bergerak ke kanan. Orang beserta papan beroda bergerak ke kanan karena mendapat gaya tarik dari tali yang arahnya ke kanan yang besarnya sama dengan gaya tarik yang diberikan oleh orang tersebut. Hal ini terjadi karena pada saat orang memberi aksi pada tali, timbul reaksi dari tali pada orang dengan besar yang sama dan arah berlawanan.

Pernyataan di atas disebut dengan hukum III Newton, sehingga hukum III Newton disebut juga dengan hukum aksi reaksi dan dapat dinyatakan dengan persamaan:

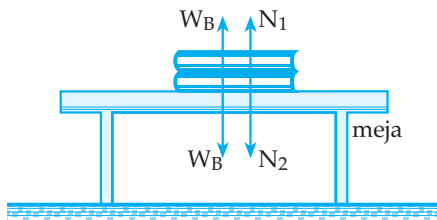
$$\text{Aksi} = -\text{Reaksi}$$

## Kegiatan 2.5

Diskusikan pertanyaan berikut bersama kelompok Anda!

1. Dari kejadian yang dinyatakan pada gambar 2.19 (pada hal.58), sebutkan pasangan aksi reaksi dari tali yang diikatkan pada tembok!

2.



Keterangan:

$W_B$  = gaya bumi menarik buku

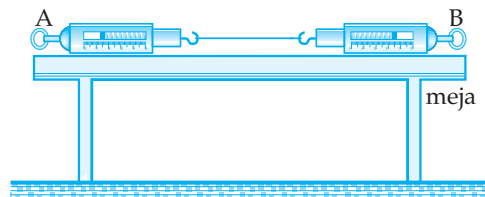
$W_B^I$  = gaya buku menarik bumi

$N_1$  = gaya normal oleh meja terhadap buku

$N_2$  = gaya normal oleh buku terhadap meja

Dari gambar di atas, tentukan pasangan aksi dan reaksi!

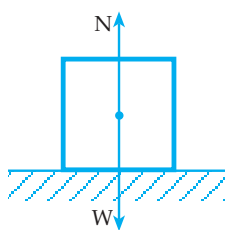
3. Ikatkan dua neraca pegas seperti gambar berikut dan letakkan kedua neraca pegas di atas meja.



Kemudian tarik neraca pegas A ke arah kiri dan tarik neraca pegas B ke arah kanan. Lihat angka yang ditunjukkan oleh neraca pegas A dan neraca pegas B. Tulis kesimpulan Anda!

Beberapa contoh penerapan hukum newton

- 1) Benda terletak pada bidang datar.



Gambar 2.20

- 1) Jika sistem diam atau GLB

$$N = W$$

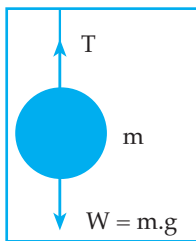
- 2) Jika sistem bergerak ke atas dengan percepatan = a

$$N - W = m \cdot a$$

- 3) Jika sistem bergerak ke bawah dengan percepatan = a

$$W - N = m \cdot a$$

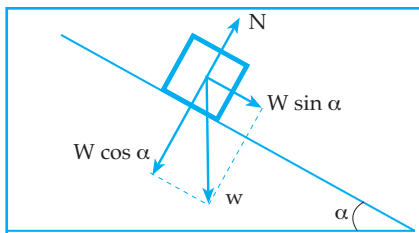
2) Sebuah benda digantung dengan tali.



Gambar 2.21

- 1) Jika sistem diam:  $T = W$
- 2) Jika sistem bergerak ke atas dengan percepatan tetap sebesar  $a$ , maka:  $T - W = m \cdot a$
- 3) Jika sistem bergerak ke bawah dengan percepatan tetap sebesar  $a$ , maka:  $W - T = m \cdot a$

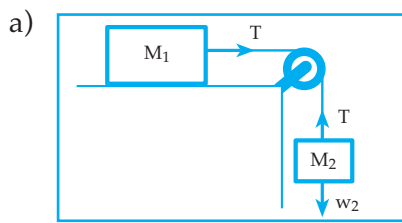
3) Benda terletak pada bidang miring licin.



Gambar 2.22

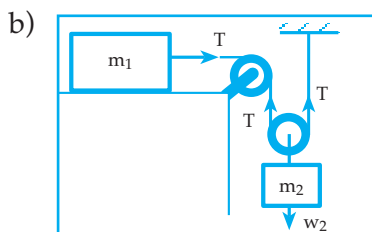
- 1)  $a = g \cdot \sin \alpha$
- 2)  $N = W \cdot \cos \alpha$

4) Beberapa benda dihubungkan dengan tali dilewatkan pada sebuah katrol.



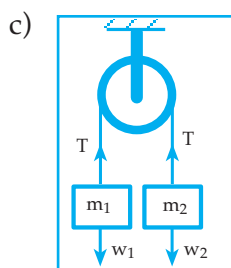
Gambar 2.23

- 1)  $a = \frac{W_2}{m_1 + m_2}$
- 2) Untuk benda II  
 $W_2 - T = m_2 \cdot a$
- 3) Untuk benda I  
 $T = m_1 \cdot a$



Gambar 2.24

- 1)  $a_1 = 2 a_2$
- 2) Untuk benda I:  $T = m_1 \cdot a_1$
- 3) Untuk benda II:  $W_2 - 2T = m_2 \cdot a_2$



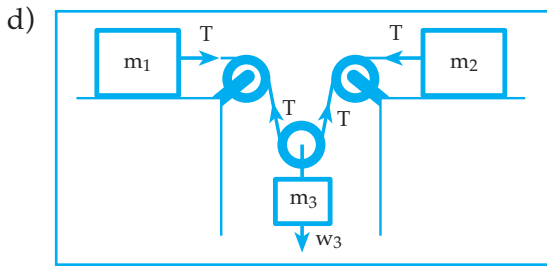
Gambar 2.25

Jika  $m_2 > m_1$

maka: 
$$a = \frac{W_2 - W_1}{m_1 + m_2}$$

Untuk benda 1 :  $T - W_1 = m_1 \cdot a$

Untuk benda 2 :  $W_2 - T = m_2 \cdot a$



Gambar 2.26

$m_1$  dan  $m_2$  berada pada bidang licin. Percepatan benda 3 sama dengan jumlah percepatan benda 1 dan benda 2 dibagi 2:

$$a_3 = \frac{a_1 + a_2}{2}$$

Untuk benda 1 :  $T = m_1 \cdot a_1$

Untuk benda 2 :  $T = m_2 \cdot a_2$

Untuk benda 3 :  $w_3 - 2T = m_3 \cdot a_3$

#### Contoh Soal 2.4

1.



Gambar di samping, sebuah timba berisi pasir mempunyai massa 5 Kg. Timba digantung dengan tali. Jika percepatan gravitasi bumi di tempat itu  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , maka hitunglah besar gaya tegang tali jika:

- sistem dalam keadaan diam
- sistem bergerak ke atas dengan percepatan  $2 \text{ m/s}^2$
- sistem bergerak ke bawah dengan percepatan  $2 \text{ m/s}^2$

Penyelesaiannya:

Diketahui:  $m = 5 \text{ kg}$ ;  $g = 10 \text{ m/s}^2$

Ditanya: T jika: a. sistem diam ( $a = 0$ )

b.  $a = 2 \text{ m/s}^2$ , ke atas

c.  $a = 2 \text{ m/s}^2$ , ke bawah

Jawab :



- a. Karena sistem diam, maka berlaku HK. I Newton

$$\Sigma F = 0$$

$$T - W = 0$$

$$T = W = m \cdot g$$

$$T = 5 \cdot 10 = 50 \text{ N}$$

- b. Karena sistem bergerak ke atas, yang disebabkan oleh gaya konstan, maka berlaku HK.II Newton.

$$\Sigma F = m \cdot a$$

$$T - W = m \cdot a$$

$$T = m \cdot a + W$$

$$T = 5 \cdot 2 + 50 = 60 \text{ N}$$

- c. Karena sistem bergerak ke bawah yang disebabkan oleh gaya konstan, maka berlaku HK.II Newton

$$\Sigma F = m \cdot a$$

$$W - T = m \cdot a$$

$$T = W - m \cdot a$$

$$T = 50 - 5 \cdot 2 = 40 \text{ N}$$

2. Sebuah mobil dengan massa 2 ton bergerak dengan kecepatan 72 Km/jam. Kemudian mobil direm dengan gaya pengerem konstan sehingga dalam waktu 5 sekon kecepatannya menjadi 36 Km/jam.

Hitunglah:

- besar gaya pengereman
- waktu yang diperlukan dan jarak yang ditempuh mulai saat mobil direm sampai berhenti

*Penyelesaian*

Diketahui:  $m = 2 \text{ ton} = 2000 \text{ kg}$

$$v_o = 72 \text{ Km/jam} = 20 \text{ m/s}$$

$$t = 5 \text{ sekon}$$

$$v_t = 36 \text{ Km/jam} = 10 \text{ m/s}$$

Ditanya: a.  $F$

b.  $t$  dan  $s$  agar mobil berhenti

Jawab:

$$a. \quad a = \frac{v_t - v_o}{t} = \frac{10 - 20}{5} = -2 \text{ m/s}^2$$

$$F = m \cdot a$$

$$F = 2000 \cdot (-2) = -4000 \text{ N (arah gaya pengerem berlawanan dengan arah gerak mobil)}$$

- b. Mobil berhenti berarti  $v_t^I = 0$   $t = 10 \text{ sekon}$

$$v_t^I = v_o + at$$

$$s = v_o t + \frac{1}{2} at^2$$

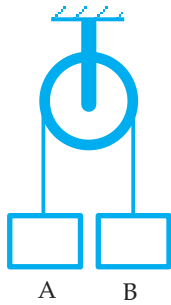
$$0 = 20 - 2t$$

$$s = 20 \cdot 10 + \frac{1}{2}(-2) \cdot 100 = 100 \text{ m}$$

Jadi mobil berhenti setelah 10 sekon dan menempuh jarak 100 m dari saat direm.



3.



Benda A dan benda B dengan massa  $M_A = 4 \text{ kg}$  dan  $M_B = 6 \text{ kg}$  dihubungkan dengan tali dilewatkan katrol licin.

Sistem mula-mula diam. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$

Kemudian sistem dilepaskan, hitunglah:

- percepatan benda A dan B
- jarak yang ditempuh benda A dan benda B selama 2 sekon
- besar gaya tegang tali

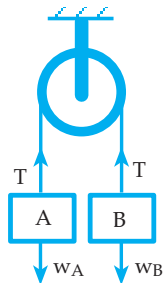
*Penyelesaian:*

Diketahui:  $m_A = 4 \text{ kg}$  ;  $m_B = 6 \text{ kg}$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

- Ditanya:
- $a = \dots?$
  - $s$  untuk  $t = 2 \text{ sekon}$
  - $T = \dots?$

Jawab:



Dari gambar di samping

$T$  = gaya tegang tali

$W_A$  = gaya berat benda A

$$W_A = m_A \cdot g = 40 \text{ N}$$

$W_B$  = gaya berat benda B

$$W_B = m_B \cdot g = 60 \text{ N}$$

Setelah sistem dilepaskan maka benda B bergerak ke bawah dan benda A bergerak ke atas dengan percepatan sama besar

a. Untuk benda A:  $\Sigma F = m_A \cdot a$

$$T - W_A = m_A \cdot a$$

$$T = W_A + m_A \cdot a \dots\dots\dots(1)$$

Untuk benda B:  $\Sigma F = m_B \cdot a$

$$W_B - T = m_B \cdot a$$

$$T = W_B + m_B \cdot a \dots\dots\dots(2)$$

(1)(2) :

$$W_A + m_A \cdot a = W_B + m_B \cdot a$$

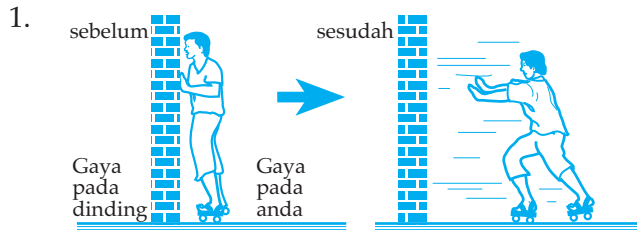
$$m_A \cdot a + m_B \cdot a = W_B - W_A$$

$$a = \frac{W_B - W_A}{m_A + m_B} = \frac{60 - 40}{4 + 6} = 2 \text{ m/s}^2$$

$$\begin{aligned} \text{b. } S &= V_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \rightarrow V_0 = 0 \\ S &= 0 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 4 = 4 \text{ m} \\ \text{c. } T &= W_A + m_A \cdot a \\ T &= 40 + 4 \cdot 2 = 48 \text{ N} \end{aligned}$$

## Uji Pemahaman 2.4

Kerjakan soal berikut!



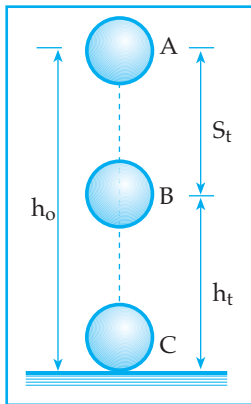
Berikan penjelasan kejadian gambar di atas!

2. Sebuah benda dilempar ke atas pada bidang miring licin dengan kecepatan awal 12 m/s. Sudut kemiringan bidang terhadap bidang terhadap bidang datar =  $\alpha$  ( $\tan \alpha = \frac{3}{4}$ ). Tentukan:
  - a. waktu yang diperlukan benda untuk kembali ke posisi semula
  - b. jarak yang ditempuh benda mulai dilempar sampai kembali ke tempat pelemparan semula
  - c. kecepatan benda pada saat kembali ke tempat pelemparan semula

## D. GERAK VERTIKAL

### 1. Gerak Jatuh Bebas

Gerak jatuh bebas adalah gerak jatuh yang hanya dipengaruhi oleh gaya tarik bumi dan bebas dari hambatan gaya-gaya lain.

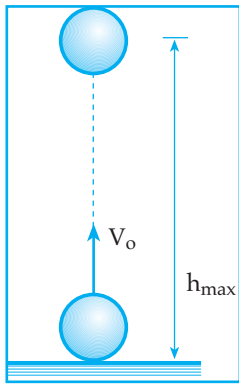


Gambar 2.27

Gerak jatuh bebas termasuk GLBB dipercepat dengan kecepatan awal  $V_0 = \text{nol}$  dan percepatan sebesar percepatan gravitasi ( $g$ ), sehingga berlaku persamaan:

- a)  $v_t = g \cdot t$
- b)  $S_t = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$
- c)  $h_t = h_0 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$
- d)  $t = \sqrt{\frac{2h_0}{g}}$  ( $t = \text{waktu untuk mencapai bidang acuan}$ )

## 2. Gerak Vertikal ke Atas



Gambar 2.28

Gerak vertikal ke atas termasuk GLBB diperlambat beraturan dengan kecepatan awal  $v_o$  dan perlambatan sama dengan percepatan gravitasi ( $a = -g$ )

Dengan demikian berlaku persamaan:

$$a) \quad v_t = v_o - g \cdot t \qquad c) \quad t_{\max} = \frac{v_o}{g}$$

$$b) \quad h_t = v_o \cdot t - \frac{1}{2}gt^2 \qquad d) \quad h_{\max} = \frac{v_o^2}{2g}$$

Keterangan:

$t_{\max}$  = waktu untuk mencapai ketinggian maksimum

$h_{\max}$  = tinggi maksimum yang dicapai

### Contoh soal 2.5

1. Sebuah bola kasti dilempar vertikal ke atas dengan kecepatan 20 m/s. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , tentukan:

- ketinggian dan kecepatannya pada saat  $t = 1$  sekon
- waktu untuk mencapai tinggi maksimum
- ketinggian maksimum yang dicapai oleh bola
- kecepatan bola pada saat sampai pada posisi semula

Penyelesaian:

Diketahui :  $v_o = 20 \text{ m/s}$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

Ditanya: a.  $h_t$  dan  $v_t$  untuk  $t = 1$  sekon

b.  $t_{\max}$

c.  $h_{\max}$

d.  $v_t$  saat bola sampai pada posisi semula

Jawab:

$$a. \quad h_t = v_o \cdot t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$h_t = 20 - 5 = 15 \text{ m}$$

$$v_t = v_o - gt$$

$$v_t = 20 - 10 = 10 \text{ m/s}$$

$$b. \quad t_{\max} = \frac{v_o}{g} = \frac{20}{10} = 2 \text{ sekon}$$

$$c. \quad t_{\max} = \frac{v_o^2}{2g} = \frac{400}{20} = 20 \text{ m}$$

$$d. \quad t = \frac{2v_o}{g} = \frac{40}{10} = 4 \text{ sekon}$$

$$v_t = v_o - gt$$

$$v_t = 20 - 40 = -20 \text{ m/s}$$

2. Sebuah batu jatuh dari atas bangunan yang tingginya  $h$  meter di atas tanah. Kecepatan batu saat sampai di tanah =  $20 \text{ m/s}$ . Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , tentukan nilai  $h$ !

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $v_t = 20 \text{ m/s}$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

Ditanya:  $h$

Jawab:

$$v_t = g \cdot t$$

$$20 = 10 \cdot t$$

$$t = 2 \text{ sekon}$$

$$t^2 = \frac{2h}{g}$$

$$4 = \frac{2h}{10}$$

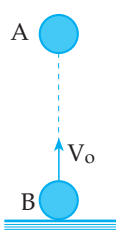
$$2h = 40$$

$$h = 20 \text{ m}$$

## Uji Pemahaman 2.5

**Kerjakan soal berikut!**

1. Sebuah bola besi dijatuhkan bebas dari ketinggian tertentu di atas tanah. Ternyata pada saat ketinggian bola besi  $75 \text{ m}$  dari tanah mempunyai kecepatan  $10 \text{ m/s}$ . Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , hitunglah:
  - a. waktu yang diperlukan oleh bola besi untuk sampai di tanah
  - b. kecepatan bola sesaat sampai di tanah.

2.  Bola A dan B satu garis lurus, keduanya berjarak  $100 \text{ m}$ . Bola A dijatuhkan bebas dan bola B dilempar ke atas dengan kecepatan  $50 \text{ m/s}$ . Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , maka bilamana dan di mana kedua bola akan bertemu?

# Rangkuman

- Jarak, panjang lintasan yang ditempuh oleh benda selama bergerak
- Perpindahan, perubahan posisi suatu benda:  $\vec{\Delta s} = \vec{s}_1 - \vec{s}_2$
- Kelajuan rata-rata, jarak yang ditempuh dalam selang waktu tertentu

$$v = \frac{s}{t}$$

- Kecepatan rata-rata, perpindahan benda dalam selang waktu tertentu

$$\vec{v} = \frac{\vec{\Delta s}}{\Delta t}$$

- Percepatan, perubahan kecepatan dalam selang waktu tertentu:

$$\vec{a} = \frac{\vec{\Delta v}}{\Delta t}$$

- Gerak lurus beraturan (GLB) adalah gerak lurus dengan kecepatan tetap

$$s = v \cdot t$$

- Gerak lurus berubah beraturan (GLBB), adalah gerak lurus dengan kecepatan berubah dengan beraturan

$$v_t = v_o + a \cdot t$$

$$s = v_o \cdot t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$v_t^2 = v_o^2 + 2as$$

- Gerak melingkar, gerak dengan lintasan berbentuk lingkaran
- Posisi (r) benda yang bergerak melingkar yaitu  $r = (R, \theta)$
- Gerak melingkar beraturan (GMB), gerak melingkar dengan kelajuan tetap.

$$\theta = \omega \cdot t$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

$$v = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi f R$$

$$v = \omega \cdot R$$

$$a_s = \frac{v^2}{R} = \omega^2 \cdot R$$

$$F_s = m \cdot a_s = \frac{mv^2}{R} = m \cdot \omega^2 \cdot R$$

- Hukum I Newton disebut juga hukum kelembaman  
syarat  $\Sigma F = 0$
- Hukum II Newton:  $\Sigma F = m \cdot a$
- Hukum III Newton disebut juga Hukum aksi – reaksi

Aksi = Reaksi

- Berat benda  $W = m \cdot g$
- Gerak vertikal adalah gerak yang dipengaruhi oleh gaya tarik bumi
- Pada gerak jatuh bebas :  $v_o = 0$ ;  $a = g$

$$v_t = g \cdot t$$

$$s = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

- Pada gerak vertikal ke atas:  $a = -g$

$$v_t = v_o - gt$$

$$h = v_o t - \frac{1}{2} g t^2$$

## KATA KUNCI

- |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| - gerak translasi     | - gerak melingkar     |
| - gerak rotasi        | - radian              |
| - kinematika partikel | - periode             |
| - speedometer         | - frekuensi           |
| - kelajuan            | - kecepatan sudut     |
| - kecepatan           | - gaya sentripetal    |
| - percepatan          | - dinamika partikel   |
| - perlajuan           | - gaya berat          |
| - gerak lurus         | - konstanta gravitasi |

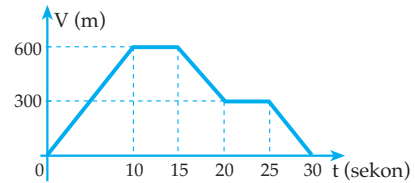


## JI KOMPETENSI

### A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar!

1. Seorang atlet maraton melakukan latihan lari dengan mengelilingi lapangan sepak bola 5 kali. Jika satu kali putaran menempuh jarak 360 m, maka jarak dan perpindahan yang telah di tempuh pelari tersebut adalah ....
  - a. 1800 m dan 1800 m
  - b. 1800 m dan 0
  - c. 0 dan 1800 m
  - d. 360 m dan 360 m
  - e. 360 m dan 0
2. Seseorang berlari dari P ke Q yang berjarak 200 m lurus ke barat dengan kelajuan tetap 4 m/s. Kemudian orang itu bergerak dari Q ke R yang berjarak 100 m lurus ke utara selama 50 s. Kecepatan rata-rata dari P ke R adalah ... m/s.
  - a.  $\sqrt{5}$
  - b.  $2\sqrt{5}$
  - c. 50
  - d. 160
  - e.  $100\sqrt{5}$
3. Sebuah titik partikel yang melakukan gerak melingkar beraturan ....
  - a. mempunyai kecepatan yang arahnya selalu sama
  - b. mempunyai percepatan yang menuju pusat lingkaran
  - c. mempunyai percepatan yang menjauhi pusat lingkaran
  - d. tidak mempunyai percepatan
  - e. tidak mempunyai gaya sentripetal

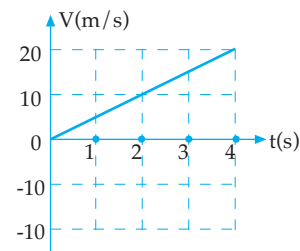
4.



Grafik di atas menunjukkan perpindahan (s) terhadap waktu (t) dari gerak sebuah benda. Kecepatan rata-rata benda tersebut adalah ....

- a. 0 m/s
- b. 20 m/s
- c. 30 m/s
- d. 40 m/s
- e. 350 m/s

5.



Grafik di atas merupakan data dari kecepatan terhadap waktu sehingga dapat diperoleh:

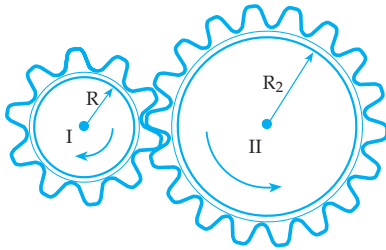
- 1) jarak tempuh = 40 m
- 2) perpindahan = 0 m
- 3) perlajuan =  $5 \text{ m/s}^2$
- 4) percepatan =  $-10 \text{ m/s}^2$

Pernyataan yang **benar** adalah ....

- a. 1), 2), dan 3)
- b. 1), 2), dan 4)
- c. 1) dan 3)
- d. 2) dan 4)
- e. 1), 2), 3), dan 4)

6. Benda bermassa  $\frac{1}{2}$  kg bergerak melingkar beraturan dengan bidang putaran vertikal dan kecepatan sudutnya  $6 \text{ rad s}^{-1}$ , jari-jari lintasannya  $1 \text{ m}$  ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ). Tegangan tali pemutar saat benda pada posisi terbawah adalah ....
- 23 N
  - 27 N
  - 35 N
  - 41 N
  - 49 N
7. Berkaitan dengan adanya rotasi bumi maka antara M. Hadi (massa  $m$ ) yang ada di Indonesia dengan A. Nake (massa  $m$ ) yang ada di Norwegia, memiliki kesamaan dalam hal ....
- beratnya
  - besarnya
  - laju liniernya
  - kecepatan angulernya
  - kecepatan liniernya

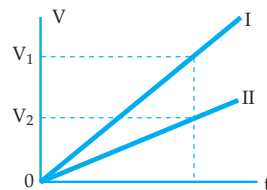
8.



Roda I dan roda II masing-masing jari-jarinya  $20 \text{ cm}$  dan  $50 \text{ cm}$ . Apabila periode roda I =  $0,1 \text{ sekon}$ , frekuensi roda II adalah ....

- 2 Hz
- 3 Hz
- 4 Hz
- 6 Hz
- 12 Hz

9. Seorang penerjun dengan parasit ternyata melayang saja, tidak naik dan tidak juga turun. Hal ini diakibatkan karena ....
- tanpa bobot
  - tanpa ada angin
  - resultan gaya nol
  - tidak ada gaya yang bekerja
  - adanya angin
10. Sebuah benda massa  $2 \text{ kg}$  bergerak pada bidang datar yang licin dari keadaan diam karena diberi gaya  $60 \text{ N}$ . Jarak yang ditempuh benda selama  $2 \text{ sekon}$  adalah ....
- 25 m
  - 60 m
  - 75 m
  - 125 m
  - 250 m
11. Pada dua benda dengan massa  $m_1$  dan  $m_2$  yang mula-mula diam, bekerja gaya tetap yang sama besar. Gambar di bawah ini adalah grafik kecepatan ( $v$ ) terhadap waktu ( $t$ ) untuk kedua benda tadi. Garis I untuk benda  $m_1$  dengan percepatan  $a_1$  dan garis II untuk benda  $m_2$  dengan percepatan  $a_2$ . Dari grafik dapat disimpulkan ....



- $a_1 > a_2$  dan  $m_1 > m_2$
- $a_1 > a_2$  dan  $m_1 < m_2$
- $a_1 < a_2$  dan  $m_1 < m_2$
- $a_1 < a_2$  dan  $m_1 > m_2$
- $a_1 = a_2$  dan  $m_1 < m_2$

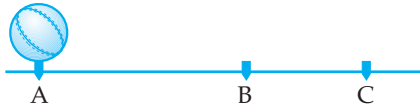


12. Sebuah benda bergerak dengan kecepatan awal  $5 \text{ m/s}$ . Jika resultan gaya yang bekerja pada benda tersebut  $= 0$ , maka kecepatan benda tersebut setelah 10 sekon adalah ....
  - a.  $0 \text{ m/s}$       d.  $25 \text{ m/s}$
  - b.  $5 \text{ m/s}$       e.  $15 \text{ m/s}$
  - c.  $10 \text{ m/s}$
13. Peluru A dan peluru B sama berat, ditembakkan vertikal ke atas dari tempat yang sama. Peluru A ditembakkan dengan kecepatan awal  $20 \text{ m/s}$  Dua detik setelah peluru A ditembakkan, peluru B juga ditembakkan dengan kecepatan awal  $50 \text{ m/s}$ . Peluru B dapat mengenai peluru A ....
  - a. setelah  $0,4$  sekon dari saat peluru A ditembakkan.
  - b. setelah  $19,2$  sekon dari saat peluru A ditembakkan.
  - c. setelah  $0,4$  sekon dari saat peluru B ditembakkan.
  - d. setelah  $19,2$  sekon dari saat peluru B ditembakkan.
  - e. setelah  $1,6$  sekon dari saat peluru B ditembakkan.
14. Sebuah benda dilempar vertikal ke bawah dengan kecepatan awal  $10 \text{ m/s}$  dari suatu ketinggian di atas permukaan tanah. Ternyata dalam waktu 2 sekon benda sampai ke permukaan tanah. Jika  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$  maka ketinggian benda tersebut adalah ....
  - a.  $44,1 \text{ m}$       d.  $41,4 \text{ m}$
  - b.  $39,6 \text{ m}$       e.  $33,6 \text{ m}$
  - c.  $36,9 \text{ m}$
15. Sebuah benda dijatuhkan bebas dari ketinggian  $h$  dari tanah. Dari gerakan benda tersebut diperoleh ....
  - a. percepatan benda sama dengan nol
  - b. kecepatan benda tetap
  - c. kecepatan benda sesaat sampai di tanah sama dengan nol
  - d. makin ke bawah kecepatan benda makin kecil
  - e. kecepatan awal benda sama dengan nol

## B. Kerjakan soal-soal di bawah ini dengan benar!

1. Pesawat angkasa P dan Q sama-sama meninggalkan bulan dengan arah yang sama. Kecepatan pesawat P relatif terhadap pesawat Q  $= 50 \text{ m/s}$  dan kecepatan pesawat Q relatif terhadap pengamat di bulan  $= 70 \text{ m/s}$ . Berapakah kecepatan relatif pesawat P terhadap pengamat di bulan?
2. Seorang pengendara sepeda dengan kecepatan tetap  $5 \text{ km/jam}$  bergerak dari kota P ke kota Q. Sebuah mobil yang mula-mula diam di kota Q bergerak ke kota P dengan percepatan tetap sebesar  $10 \text{ km/jam}^2$ . Jarak kota P dan Q adalah  $100 \text{ km}$ . Bilamana dan di mana sepeda dan mobil akan bertemu:
  - a. sepeda dan mobil berangkat bersama-sama
  - b. sepeda berangkat 1 jam lebih dahulu dibanding mobil.

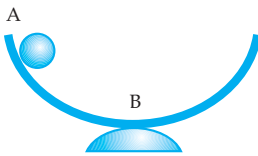
3.



Sebuah benda mula-mula diam di A kemudian melakukan gerak lurus berubah beraturan dengan percepatan  $2 \text{ m/s}^2$ . Setelah beberapa saat benda sampai di B dengan kecepatan  $40 \text{ m/s}$ . Setelah dari titik B benda melakukan gerak lurus beraturan sampai titik C. Jika jarak A sampai C = 600 meter, berapakah lama benda melakukan gerakan dari A ke B ke C tersebut?

4. Sebuah piringan hitam sedang berputar beraturan dengan sumbu melalui titik pusat piringan hitam. Titik P berada dipinggir piringan dan titik Q berada pada jarak  $\frac{1}{4} R$  dari pusat piringan hitam, dimana R adalah jari-jari piringan hitam. Berapakah perbandingan kelajuan linier dan kecepatan sudut dari titik P dan Q tersebut!

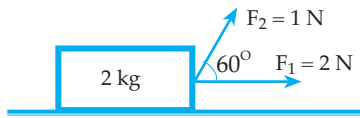
5.



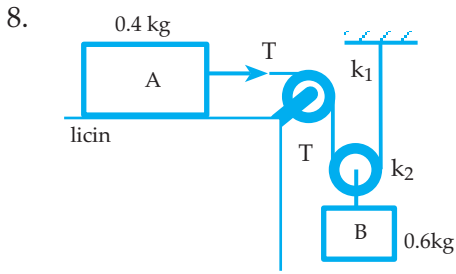
Gambar di atas melukiskan sebuah kelereng dengan massa 20 gram sedang di lepas di titik A, yaitu ujung sebuah mangkuk yang melengkung sebagai bagian dari busur lingkaran dengan jari-jari 20 cm. Jika gaya tekan mangkuk terhadap kelereng di titik B = 0,6 N, berapakah kecepatan kelereng di titik B tersebut?

6. Untuk membiasakan diri pada gaya sebesar  $9,6 \omega$  ( $\omega$  = berat astronot), seorang astronot berlatih dalam pesawat sentrifugal yang jari-jarinya 6 meter. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , maka untuk maksud tersebut, berapakah kecepatan sudut pesawat sentrifugal tersebut harus diputar?

7.



Perhatikan gambar di atas! Pada benda bermassa 2 kg dikenai dua gaya dengan besar dan arah seperti pada gambar. Jika gaya-gaya tersebut bekerja selama 10 sekon, maka hitung jarak yang ditempuh oleh benda selama itu!



Benda A dan benda B dihubungkan dengan tali melalui katrol diam  $K_1$  dan katrol bergerak  $K_2$ . Sistem mula-mula diam. Jika kemudian sistem dilepaskan hitunglah:

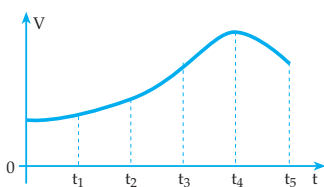
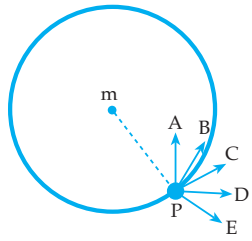
- a. percepatan benda A dan benda B
  - b. gaya tegang tali!
9. Sebuah roket diluncurkan vertikal ke atas dengan kelajuan awal 80 m/s. Roket ini mendapat percepatan  $1,8 \text{ m/s}^2$  sampai ketinggian 1000 m. Pada ketinggian ini roket mati, jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , hitunglah:
- a. berapakah lama roket masih dapat bergerak ke atas
  - b. berapakah kecepatan roket sesaat sampai ke tempat peluncuran!
10. Seseorang jatuh bebas dari atas gedung dengan ketinggian 180 m. Tiga sekon kemudian Superman yang menyaksikan adegan itu meloncat dari atas gedung yang sama untuk menyelamatkan orang tersebut. Berapakah kelajuan awal Superman supaya dapat menangkap orang itu sebelum dia menumbuk tanah?

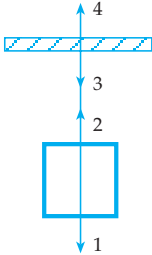
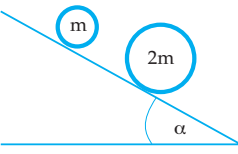
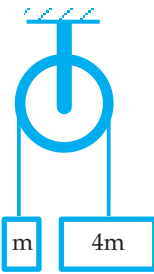


## LANGGAN SEMESTER I

### A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar!

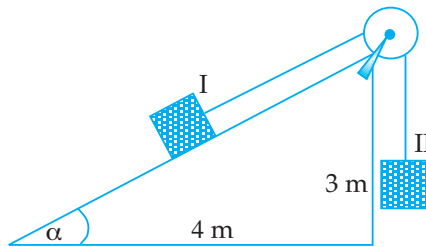
1. Dua buah vektor 3 N dan 4 N saling membentuk sudut siku-siku. Resultan kedua vektor tersebut adalah ....  
a. 1 N                      d. 4 N  
b. 2 N                      e. 5 N  
c. 3 N
2. Dua buah vektor satu titik tangkap yaitu 15 N dan 3 N maka yang tidak mungkin menjadi resultan kedua vektor adalah sebuah vektor yang besarnya ....  
a. 14 N                      d. 11 N  
b. 12 N                      e. 15 N  
c. 18 N
3. Sebuah perahu bergerak menyeberangi sungai dengan kecepatan 12 m/s. Kecepatan arus air sungai 9 m/s. Jika arah gerak perahu diarahkan tegak lurus arah arus air dan lebar sungai 60 meter maka panjang lintasan yang ditempuh oleh perahu selama perjalanannya adalah ....  
a. 100 m                      d. 40 m  
b. 80 m                      e. 20 m  
c. 60 m
4. Vektor  $\vec{p}$  dan vektor  $\vec{q}$  satu titik tangkap dan saling mengapit sudut  $\alpha$  maka perbandingan antara  $|\vec{p} \cdot \vec{q}|$  dan  $|\vec{p} \times \vec{q}|$  adalah ....  
a.  $\sin \alpha$                       d.  $\cotan \alpha$   
b.  $\cos \alpha$                       e.  $\sec \alpha$   
c.  $\tan \alpha$
5. Tiga buah vektor satu titik tangkap dan satu bidang datar. Besar masing-masing vektor adalah sama. Jika resultan dari ketiga vektor tersebut = nol, maka sudut yang diapit oleh masing-masing vektor terhadap vektor yang lain adalah ....  
a.  $0^\circ$                       d.  $45^\circ$   
b.  $30^\circ$                       e.  $60^\circ$   
c.  $120^\circ$
6. Pernyataan berikut benar, kecuali ....  
a. waktu diukur dengan stop watch  
b. panjang diukur dengan mistar  
c. massa diukur dengan neraca pegas  
d. arus listrik diukur dengan Avometer  
e. beda potensial diukur dengan Multitester
7. Seorang siswa diminta menuliskan bilangan hasil pengukuran mengandung 4 angka penting. Penulisan yang benar adalah ....  
a. 0,012                      d. 0,012000  
b. 0,0120                      e. 0,0120000  
c. 0,01200
8. Hasil penjumlahan 23,48 m dengan 125,2 m ditulis dengan aturan angka penting sama dengan ....  
a. 148,68 m                      d. 149 m  
b. 148,6 m                      e. 150 m  
c. 148,7 m

9. Logam bermassa 135 gr memiliki volum  $50 \text{ cm}^3$  mempunyai massa jenis .... ( $\text{gram}/\text{cm}^3$ )  
 a. 0,27 d. 27  
 b. 2,7 e. 27,0  
 c. 2,70
10. Dua buah vektor satu titik tangkap. Besar masing-masing vektor 7 N dan 2 N maka yang tidak mungkin sebagai resultan kedua vektor adalah ....  
 a. 9 N d. 10 N  
 b. 5 N e. 6 N  
 c. 8 N
11. Sebuah sepeda bergerak di jalan lurus dengan persamaan perpindahan  $x = 4t^2 - 2t + 2$ . Diketahui  $x$  diukur dalam meter dan  $t$  dalam sekon. Kecepatan sepeda pada selang waktu antara  $t = 1$  dan  $t = 2$  adalah ....  
 a. 14 m/s d. 2 m/s  
 b. 10 m/s e. 1 m/s  
 c. 4 m/s
12. Sebuah mobil yang bergerak dengan kecepatan 75 km/jam berpapasan dengan sepeda yang kecepatannya 20 km/jam. Kecepatan relatif sepeda terhadap mobil adalah ... km/jam.  
 a. -55 d. 75  
 b. 20 e. 90  
 c. 55
13.   
 Sebuah benda melakukan GLBB dengan grafik  $v$ - $t$  seperti gambar di atas. Benda tersebut memiliki percepatan terendah pada selang waktu ....  
 a.  $0 - t_1$  d.  $t_3 - t_4$   
 b.  $t_1 - t_2$  e.  $t_4 - t_5$   
 c.  $t_2 - t_3$
14. Sepeda motor membelok pada tikungan jalan berbentuk busur lingkaran dengan jari-jari 10 m. jika koefisien gesekan antara jalan dan roda 0,25 dan  $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$  maka kecepatan motor yang diizinkan adalah ....  
 a.  $12 \text{ m.s}^{-1}$  d.  $1,2 \text{ m.s}^{-1}$   
 b.  $5 \text{ m.s}^{-1}$  e.  $2,0 \text{ m.s}^{-1}$   
 c.  $1,5 \text{ m.s}^{-1}$
15. Sebuah benda P diikat dengan tali MP kemudian diputar mendatar. Tiba-tiba tali PM putus. Arah gerak benda P sesaat setelah tali MP putus adalah sesuai garis ....  
  
 a. PA d. PD  
 b. PB e. PE  
 c. PC
16. Karena pengaruh gaya sentripetal suatu partikel melakukan gerak melingkar beraturan dengan laju 1000 cm/s dan jari-jari lintasannya 0,5 m. Besar frekuensi putarannya ....  
 a.  $3\pi \text{ Hz}$  d.  $\frac{\pi}{6} \text{ Hz}$   
 b.  $\frac{\pi}{5} \text{ Hz}$  e.  $\frac{1}{2} \pi \text{ Hz}$   
 c.  $\frac{10}{\pi} \text{ Hz}$
17. Sebuah bus yang massanya 5 ton melintas di puncak bukit yang dianggap bagian dari lingkaran. Jika  $g = 10 \text{ m/det}^2$  dan kecepatan linier bus 10 m/det dan  $R = 20 \text{ m}$ , besar gaya tekan normalnya ... newton.  
 a. 50.000 d. 15.000  
 b. 35.000 e. 5.000  
 c. 25.000

18. Dua gaya dengan berbanding 1 : 2 bekerja pada dua benda yang massanya berbanding 3 : 2. Maka perbandingan percepatan yang timbul adalah ....
- 1 : 1
  - 3 : 4
  - 1 : 3
  - 3 : 1
  - 2 : 3
19. Perhatikan gambar di samping ini! Yang termasuk pasangan gaya aksi dan reaksi adalah ....
- 
- 1 dan 4
  - 2 dan 3
  - 3 dan 1
  - 4 dan 2
  - 1 dan 2
20. Gambar di samping adalah 2 benda dengan massa  $m$  dan  $2m$  dilepaskan pada bidang miring licin dengan sudut kemiringan  $\alpha$ . Jarak mula-mula kedua benda 10 cm. Kedua benda dilepaskan pada saat yang bersamaan. Maka jarak kedua benda setelah 4 sekon adalah ....
- 
- 40 cm
  - 20 cm
  - 5 cm
  - 8 cm
  - 10 cm
21. Sebuah benda dilempar vertikal ke atas dengan kecepatan awal 10 m/s. Benda tepat akan kembali ke bawah lagi setelah ....
- 1 sekon
  - 4 sekon
  - 20 sekon
  - 0,5 sekon
  - 2 sekon
22. Sebuah benda jatuh bebas dari ketinggian tertentu di atas permukaan bumi. Sesaat kemudian ketinggian benda dari bumi 5 m dan kecepatan benda saat itu  $10\sqrt{5}$  m/s. Ketinggian benda mula-mula adalah ....
- 15 m
  - 25 m
  - 50 m
  - 20 m
  - 100 m
23. Perhatikan gambar berikut!
- 
- Jika kedua benda dilepaskan dengan percepatan gravitasi =  $10 \text{ m/s}^2$  maka percepatan yang timbul pada kedua benda adalah ....
- $4 \text{ m/s}^2$
  - $6 \text{ m/s}^2$
  - $16 \text{ m/s}^2$
  - $8 \text{ m/s}^2$
  - $10 \text{ m/s}^2$
24. Suatu benda dilempar vertikal ke atas dengan kecepatan awal 40 m/s. Setelah 5 sekon kecepatan benda menjadi ....
- 10 m/s dengan arah ke atas
  - 10 m/s dengan arah ke bawah
  - 90 m/s dengan arah ke atas
  - 90 m/s dengan arah ke bawah
  - 50 m/s dengan arah ke bawah
25. Sebuah peluru ditembakkan vertikal ke atas dengan kecepatan awal 50 m/s. Kecepatan peluru saat berada pada ketinggian 120 m adalah ....
- 20 m/s
  - 10 m/s
  - nol
  - 10 m/s
  - 20 m/s

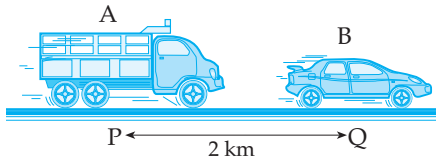
## B. Jawablah soal-soal di bawah ini!

1.



Gambar di samping balok I yang berada pada bidang miring licin dihubungkan dengan balok II dengan tali melalui sebuah katrol licin. Berat balok II adalah 30 N. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$  dan sistem dalam keadaan diam maka berapa massa dari balok I tersebut?

2.

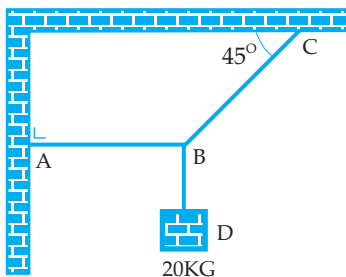


Mobil A dan Mobil B bergerak pada satu garis lurus dan sama-sama bergerak ke kanan. Mobil A yang mula-mula diam di kota P kemudian melakukan gerak lurus berubah beraturan dengan percepatan  $7,2$

$\text{km/jam}^2$ . Mobil B yang mula-mula diam di kota Q kemudian melakukan gerak lurus beraturan dengan kecepatan  $36 \text{ km/jam}$ . Jarak kota P dan Kota Q adalah  $2 \text{ km}$ . Setelah mobil B bergerak, mobil A baru berangkat. Berapa lama dan pada jarak berapa dari kota P mobil A dapat menyusul mobil B?

3. Sebuah mobil melewati suatu gundukan jalan yang berupa busur lingkaran dengan jari-jari  $8 \text{ m}$ . Bila  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Berapakah kecepatan maksimum mobil saat melewati tempat tertinggi akan tetapi mobil belum meninggalkan (lepas) dari jalan tersebut?

4.



Gambar di samping benda dengan massa  $20 \text{ kg}$  digantung dengan tali. Jika sistem setimbang dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Hitunglah besar gaya tegang tali AB, BC dan BD!

5. Sebuah batu dijatuhkan bebas dari suatu ketinggian dan 3 sekon kemudian batu yang lain dijatuhkan vertikal ke bawah dengan kecepatan awal  $45 \text{ m/s}$ . Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , tentukan kapan dan di mana batu kedua menyusul batu pertama?

# 3

## ALAT OPTIK

Setelah mempelajari materi "Alat Optik" diharapkan Anda mampu menganalisis fungsi bagian-bagian, dan pembentukan bayangan pada alat optik mata, kacamata, kamera, lup, mikroskop, dan teropong serta mampu membedakan pengamatan tanpa akomodasi dan dengan akomodasi maksimum. Selain itu diharapkan Anda mampu menentukan kekuatan lensa kacamata serta menghitung perbesaran lup, mikroskop, dan teropong.



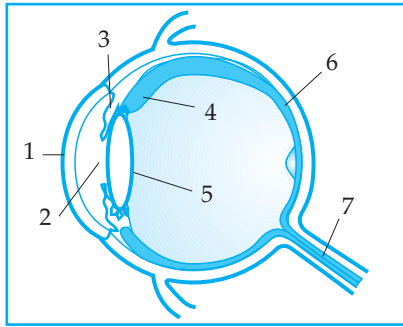


Pada materi alat-alat optik kita akan membahas tentang: mata, kamera, lup, mikroskop dan teropong.

## A. MATA DAN KACAMATA

Mata merupakan salah satu diantara alat-alat optik. Mata mempunyai lensa yang dapat diubah-ubah jarak fokusnya.

### 1. Bagian penting dan fungsi mata



Gambar 3.1  
Penampang lintang mata

Gambar 3.1 di samping ini adalah bagian mata:

1. Kornea mata, melindungi bagian dalam mata
2. Pupil, sebagai lubang tempat masuknya cahaya ke dalam mata
3. Iris, memberi warna mata dan mengatur besar kecilnya pupil
4. Otot mata, mencembung atau memipihkan lensa mata
5. Lensa mata, membentuk bayangan dari benda yang dilihat
6. Retina, layar tempat bayangan terbentuk
7. Saraf mata, membawa kesan bayangan yang terbentuk ke otak

### 2. Beberapa istilah pada mata

- Titik dekat ( $S_n$ ) atau punctum proksimum ( $pp$ ): titik terdekat yang masih jelas terlihat oleh mata berakomodasi maksimum.
- Titik jauh atau punctum remotum ( $pr$ ): titik terjauh yang masih jelas terlihat oleh mata tak berakomodasi.
- Daya akomodasi mata: kemampuan lensa mata memipih atau mencembung untuk menyesuaikan jarak benda yang terlihat.

### 3. Jenis mata

- a Mata normal (Emetrop):  $S_n = 25 \text{ cm}$  ;  $pr = \sim$
- b Rabun jauh/lihat dekat (miopi):  $S_n < 25 \text{ cm}$  ;  $Pr < \sim$   
Dibantu dengan kacamata berlensa cekung (negatif)
- c Rabun dekat/lihat jauh (hipermetropi):  $S_n > 25 \text{ cm}$  ;  $Pr = \sim$   
Dibantu dengan kacamata berlensa cembung (positif)
- d Mata tua (presbiopi):  $S_n > 25 \text{ cm}$  ;  $Pr < \sim$   
Dibantu dengan kacamata berlensa rangkap (positif dan negatif)

#### 4. Kekuatan lensa kacamata

Untuk menentukan kekuatan dan jenis lensa kaca mata yang harus digunakan oleh orang yang menderita cacat mata agar dapat kembali seperti orang yang bermata normal, ada ketentuan sebagai berikut.

a Jika diketahui/ditanyakan  $S_n$ , maka  $S = 25 \text{ cm}$  ;  $S' = -S_n$

b Jika diketahui/ditanyakan  $P_r$ , maka  $S = \sim$  ;  $S' = -P_r$

$$\frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{f} \Leftrightarrow \Leftrightarrow P = \frac{100}{f}$$

Dengan ketentauan dan perhitungan di atas dapat ditentukan jenis dan kekuatan lensa kaca mata yang harus digunakan.

##### Contoh soal 3.1

1. Tentukan jenis dan kekuatan lensa kacamata yang harus digunakan oleh orang yang mempunyai titik dekat 50 cm.

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $S_n = 50 \text{ cm}$

Ditanya: jenis lensa dan nilai  $P$

Jawab:

$S = 25 \text{ cm}$

$S' = -S_n = -50 \text{ cm}$

$$\frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{25} + \frac{1}{-50} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{2-1}{50} = \frac{1}{f}$$

$$f = 50 \text{ cm}$$

$$P = \frac{100}{f} = \frac{100}{50} = 2 \text{ dioptri}$$

Jadi jenis lensa yang digunakan cembung (positif) dengan kekuatan 2 Dioptri

2. Seseorang menggunakan kacamata dengan lensa yang berkekuatan  $-1\frac{1}{4}$  Dioptri. Berapa titik jauh orang tersebut?

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $P = -1\frac{1}{4} \text{ D} = -\frac{5}{4} \text{ D}$

Ditanya:  $P_R = \dots?$

Jawab:

$$f = \frac{100}{P} = \frac{100}{-\frac{4}{5}} = -80 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{f}$$

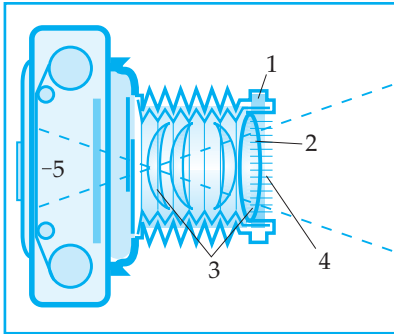
$$\frac{1}{\infty} - \frac{1}{PR} = -\frac{1}{80}$$

$$PR = 80 \text{ cm}$$

Jadi, titik jauh orang tersebut 80 cm

## B. KAMERA

Bagan sebuah kamera dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut. Adapun bagian-bagian penting dari kamera adalah sebagai berikut.



Gambar 3.2 Bagan kamera

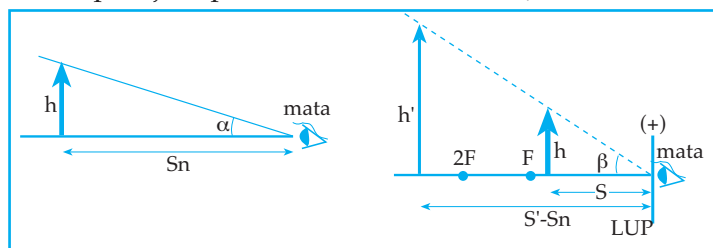
1. Shutter, sebagai pengatur jarak lensa ke benda.
2. Appature, sebagai lubang tempat cahaya masuk.
3. Lensa, sebagai pembentuk bayangan.
4. Diafragma, sebagai pengatur besar kecilnya Appature.
5. Film, sebagai layar tempat terbentuknya bayangan.

Informasi:

Untuk memperoleh gambar yang jelas pada film maka benda yang dipotret harus diletakkan pada ruang III dari lensa kamera

## C. LUP

Lup adalah alat yang dibuat dari sebuah lensa positif yang fungsinya untuk melihat benda-benda kecil agar tampak lebih besar, karena pada saat kita menggunakan Lup terjadi perbesaran sudut lihat ( $\gamma$ )



Gambar 3.3 Bagan perbesaran sudut pada lup

Perbesaran sudut lihat ( $\gamma$ ) adalah perbandingan sudut lihat dengan alat ( $\gamma$ ) dan perbesaran sudut lihat tanpa alat ( $\alpha$ ). Untuk sudut kecil didapat  $\beta = \tan \beta$  dan  $\alpha = \tan \alpha$ , sehingga perbesaran sudut dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\gamma = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{\tan \beta}{\tan \alpha} = \frac{S_n}{S}$$

$\alpha$  = sudut lihat tanpa alat

$\beta$  = sudut lihat dengan alat

$\gamma$  = perbesaran sudut

$S_n$  = jarak titik dekat pengamat

$S$  = jarak benda ke Lup

- a. Untuk mata berakomodasi maksimum:  $s < f$

Perbesaran sudut:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{S'} = \frac{1}{f} \rightarrow S' = -S_n$$

$$\frac{1}{S} - \frac{1}{S_n} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{S} = \frac{S_n + f}{S_n \cdot f}$$

$$\gamma = \frac{S_n}{S} = S_n \times \left( \frac{S_n + f}{S_n \cdot f} \right)$$

$$\gamma = \frac{S_n + f}{f} = \frac{S_n}{f} + 1$$

- b. Untuk mata tak berakomodasi:  $S = f$

Perbesaran sudut:  $\gamma = \frac{S_n}{f}$

### Kegiatan 3.1

Diskusikan hal berikut bersama kelompok Anda!

Buktikan persamaan-persamaan perbesaran sudut lihat ( $\gamma$ ) di atas!

### Contoh soal 3.2

1. Seorang bermata normal melihat benda kecil menggunakan lup yang berjarak titik fokus 5 cm. Hitunglah perbesaran sudutnya, jika:

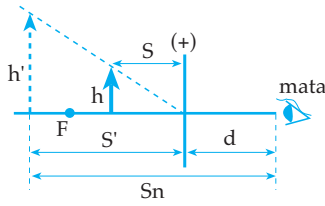
- mata berakomodasi maksimum
- mata tidak berakomodasi
- mata berakomodasi maksimum dengan jarak mata ke lup 5 cm

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $S_n = 25$  cm (mata normal),  $f = 5$  cm

- Ditanya:  $\gamma$  untuk: a) mata berakomodasi maksimum  
 b) mata tidak berakomodasi  
 c) mata berakomodasi maksimum dan  $d = 5 \text{ cm}$

Jawab:



- a.  $\gamma = \frac{S_n}{f} + 1 = \frac{25}{5} + 1 = 6 \text{ kali}$   
 b.  $\gamma = \frac{S_n}{f} = \frac{25}{5} = 5 \text{ kali}$   
 c.  $S' = -(S_n - d) = -20 \text{ cm}$   

$$\frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{f}$$
  

$$\frac{1}{S} - \frac{1}{20} = \frac{1}{5}$$
  

$$\frac{1}{S} = \frac{4+1}{20}$$
  

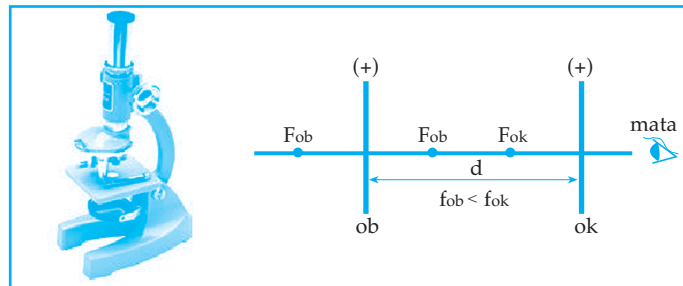
$$S = 4 \text{ cm}$$
  

$$\gamma = \frac{S_n}{S} = \frac{25}{4} = 6,25 \text{ kali}$$

## D. MIKROSKOP

Mikroskop adalah alat untuk melihat benda-benda sangat kecil (zat renik). Pada mikroskop terdapat dua lensa positif.

- a. Lensa objektif (dekat dengan benda)  
 b. Lensa okuler (dekat dengan mata) dimana  $f_{ob} < f_{ok}$



Gambar 3.4 Bagan mikroskop

Jika kita meletakkan sebuah benda di depan lensa objektif, maka secara alami lensa objektif dan lensa okuler mengadakan perbesaran bayangan, sehingga terjadi perbesaran ganda pada mikroskop yang disebut *perbesaran linier mikroskop*. Demikian juga jika kita melihat benda tersebut melalui lensa okuler, dapat terlihat bayangan akhir dan terjadi perbesaran yang disebut perbesaran sudut. Dengan demikian pada mikroskop terdapat perbesaran linier dan perbesaran sudut.

### Perbesaran linier (M)

Perbesaran linier adalah perbandingan tinggi bayangan akhir yang terbentuk dengan tinggi benda mula-mula. Dengan menerapkan persamaan pada lensa diperoleh perbesaran linier (M) sebagai berikut.

$$M = \frac{S'_{ob}}{S_{ob}} \times \frac{S'_{ok}}{S_{ok}}$$

Panjang tubus (d) yaitu jarak lensa objektif dan okuler,  $d = S'_{ob} + S_{ok}$

Perbesaran sudut ( $\gamma$ )

a. Untuk mata berakomodasi maksimum

Prinsip kerja: - lensa objektif:  $f_{ob} < S_{ob} < 2f_{ob}$        $S'_{ob} > 2f_{ob}$   
- lensa okuler (berfungsi sebagai lup):  $S_{ok} < f_{ok}$  ;  $S'_{ok} = -S_n$

$$\gamma = \frac{S'_{ob}}{S_{ob}} \times \left( \frac{S_n}{f_{ok}} + 1 \right)$$

Panjang tubus :  $d = S'_{ob} + S_{ok}$

b) Untuk mata tak berakomodasi

Prinsip kerja: - lensa objektif:  $f_{ob} < S_{ob} < 2f_{ob}$        $S'_{ob} > 2f_{ob}$   
- lensa okuler (berfungsi sebagai lup):  $S_{ok} = f_{ok}$  ;  $S'_{ok} = \infty$

$$\gamma = \frac{S'_{ob}}{S_{ob}} \times \frac{S_n}{f_{ok}}$$

Panjang tubus :  $d = S'_{ob} + f_{ok}$

Keterangan:

$S_{ob}$  = jarak benda objektif ke lensa objektif

$S'_{ob}$  = jarak bayangan lensa objektif ke lensa objektif

$S_{ok}$  = jarak benda okuler ke lensa okuler

$S'_{ok}$  = jarak bayangan okuler ke lensa okuler

### Contoh soal 3.3

1. Sebuah mikroskop mempunyai lensa objektif dan lensa okuler yang masing-masing berjarak titik fokus 4 cm dan 10 cm. Sebuah benda renik diletakkan pada jarak 6 cm dari lensa objektif. Seorang bermata normal melihat benda tersebut dengan berakomodasi maksimum. Hitunglah:
  - a. perbesaran sudutnya
  - b. panjang tubusnya

Penyelesaian:

Diketahui:  $f_{ob} = 4 \text{ cm}$  ;  $f_{ok} = 10 \text{ cm}$ ;  $S_n = 25 \text{ cm}$  ;  $S_{ob} = 6 \text{ cm}$

Ditanya:  $\gamma = \dots?$  ;  $d = \dots?$

Jawab:

$$a. \quad \frac{1}{S_{ob}} + \frac{1}{S'_{ob}} = \frac{1}{f_{ob}}$$

$$\frac{1}{6} + \frac{1}{S'_{ob}} = \frac{1}{4}$$

$$S'_{ob} = 12 \text{ cm}$$

$$\gamma = \frac{S'_{ob}}{S_{ob}} \times \left( \frac{S_n}{f_{ok}} + 1 \right)$$

$$\gamma = \frac{12}{6} \times \left( \frac{25}{10} + 1 \right)$$

$$\gamma = 7 \text{ kali}$$

$$b. \quad \frac{1}{S_{ok}} + \frac{1}{S'_{ok}} = \frac{1}{f_{ok}}$$

$$\frac{1}{S_{ok}} - \frac{1}{25} = \frac{1}{10}$$

$$\frac{1}{S_{ok}} = \frac{5+2}{50}$$

$$S_{ok} = 7,14 \text{ cm}$$

$$d = S'_{ob} + S_{ok}$$

$$d = 12 + 7,14$$

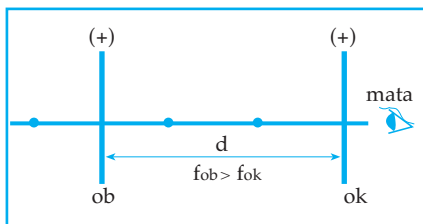
$$d = 19,74 \text{ cm}$$

## E. TEROPONG

Teropong yaitu alat untuk melihat benda-benda jauh agar tampak jelas. Ada beberapa jenis teropong, antara lain sebagai berikut.

### 1. Teropong bintang

Pada teropong bintang terdapat dua buah lensa positif (lensa objektif dan lensa okuler)  $f_{ob} > f_{ok}$



Gambar 3.5 Bagan teropong bintang

Untuk mata berakomodasi maksimum Prinsip kerja:

- lensa objektif:  $S_{ob} = \infty$  ;  $S'_{ob} = f_{ob}$
- lensa okuler (berfungsi sebagai Lup)  
 $S_{ok} < f_{ok}$  ;  $S'_{ok} = -S_n$

$$\text{Perbesaran sudut: } \gamma = \frac{f_{ob}}{S_{ok}}$$

$$\text{Panjang tubus: } d = f_{ob} + S_{ok}$$

Untuk mata tak berakomodasi

Prinsip kerja: - lensa objektif:  $S_{ob} = \infty$  ;  $S'_{ob} = f_{ob}$

- lensa okuler (berfungsi sebagai lup)

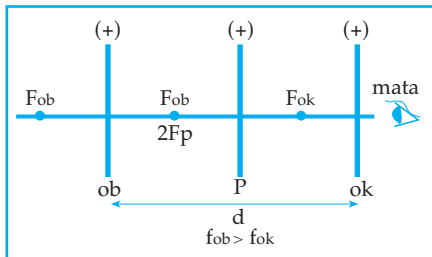
$$S_{ok} = f_{ok} ; S'_{ok} = \infty$$

$$\text{Perbesaran sudut: } \gamma = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$$

$$\text{Panjang tubus: } d = f_{ob} + f_{ok}$$

## 2. Teropong bumi (teropong medan)

Pada teropong bumi terdapat tiga buah lensa positif (lensa objektif, lensa pembalik, lensa okuler)  $f_{ob} > f_{ok}$



Gambar 3.6 Bagan teropong bumi

Untuk mata berakomodasi maksimum:

Prinsip kerja :

- Lensa objektif :  $S_{ob} = \infty$  ;  $S'_{ob} = f_{ob}$
- Lensa pembalik :  $S_p = 2 f_p$  ;  $S'_p = 2 f_p$
- Lensa okuler (berfungsi sebagai lup):  $S_{ok} < f_{ok}$  ;  $S'_{ok} = -S_n$

Perbesaran sudut:  $\gamma = \frac{f_{ob}}{S_{ok}}$

Panjang tubus:  $d = f_{ob} + 4f_p + S_{ok}$

Untuk mata tak berakomodasi:

Prinsip kerja:

- lensa objektif :  $S_{ob} = \infty$  ;  $S'_{ob} = f_{ob}$
- lensa pembalik :  $S_p = 2 f_p$  ;  $S'_p = 2 f_p$
- lensa okuler (berfungsi sebagai lup):  $S_{ok} = f_{ok}$  ;  $S'_{ok} = \infty$

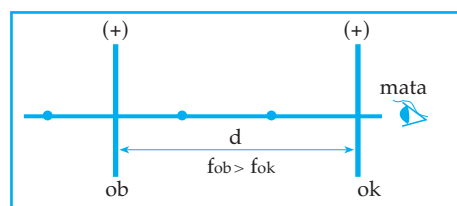
---

Perbesaran sudut:  $\gamma = \frac{fob}{fok}$

Panjang tubus:  $d = f_{ob} + 4f_p + f_{ok}$

### 3. Teropong tonil atau teropong panggung

Pada teropong tonil terdapat sebuah lensa positif (lensa objektif) dan sebuah lensa negatif (lensa okuler)



Gb. 3.7: Bagan Teropong Tonil



Untuk mata berakomodasi maksimum:

- Prinsip kerja :
- lensa objektif :  $S_{ob} = \infty$  ;  $S'_{ob} = f_{ob}$
  - lensa okuler (berfungsi sebagai lensa pembalik)  
 $f_{ok} < S_{ok} < 2 f_{ok}$  (di belakang lensa okuler)  
 $S'_{ok} = -S_n$

$$\text{Perbesaran sudut: } \gamma = \frac{f_{ob}}{S_{ok}}$$

$$\text{Panjang tubus: } d = f_{ob} + S_{ok}$$

Untuk mata tak berakomodasi:

- Prinsip kerja :
- lensa objektif :  
 $S_{ob} = \infty$  ;  $S'_{ob} = f_{ob}$
  - lensa okuler :  
 $S_{ok} = f_{ok}$  (di belakang lensa okuler)  
 $S'_{ok} = \infty$

$$\text{Perbesaran sudut: } \gamma = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$$

$$\text{Panjang tubus: } d = f_{ob} + f_{ok}$$

**Contoh soal :**

1. Sebuah teropong bintang dengan  $f_{ob} = 100$  cm dan  $f_{ok} = 5$  cm, digunakan untuk melihat bulan purnama oleh orang bermata normal tanpa berakomodasi. Jika sudut lihat diameter bulan tanpa alat  $3^\circ$ , maka berapakah sudut lihat diameter bulan dengan alat?

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $f_{ob} = 100$  cm

$f_{ok} = 5$  cm

$\alpha = 3^\circ$

Ditanya:  $\beta = \dots?$

Jawab:

$$\gamma = \frac{f_{ob}}{f_{ok}} = \frac{100}{5} = 20 \text{ kali}$$

$$\gamma = \frac{\beta}{\alpha} \Leftrightarrow 20 = \frac{\beta}{3} \Leftrightarrow \beta = 60^\circ$$

2. Sebuah teropong bumi dengan  $f_{ob} = 80 \text{ cm}$ ;  $f_p = 5 \text{ cm}$  dan  $f_{ok} = 20 \text{ cm}$  digunakan untuk melihat benda jauh oleh orang bermata normal dengan berakomodasi maksimum. Tentukan:

a) Perbesaran sudut

b) Panjang tubus

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $f_{ob} = 80 \text{ cm}$  ;  $f_p = 5 \text{ cm}$  ;  $f_{ok} = 20 \text{ cm}$

Ditanya: a)  $\gamma = \dots?$  ; b)  $d = \dots?$

Jawab:

$$\text{a. } \frac{1}{S_{ok}} + \frac{1}{S'_{ok}} = \frac{1}{f_{ok}}$$

$$\frac{1}{S_{ok}} - \frac{1}{25} = \frac{1}{20} \Leftrightarrow \frac{1}{S_{ok}} = \frac{5+4}{100} \Leftrightarrow S_{ok} = \frac{100}{9} = 11,1 \text{ cm}$$

$$\gamma = \frac{f_{ob}}{S_{ok}} = \frac{80}{\frac{100}{9}} = 80 \times \frac{9}{100} = 7,2 \text{ kali}$$

$$\text{b. } d = f_{ob} + 4 f_p + S_{ok}$$

$$d = 80 + 20 + 11,1 = 111,1 \text{ cm}$$

3. Sebuah teropong panggung dengan  $f_{ob} = 50 \text{ cm}$  dan  $f_{ok} = -5 \text{ cm}$  digunakan untuk melihat bintang oleh orang yang bermata normal tanpa berakomodasi.

Tentukan: a) perbesaran sudut

b) panjang tubus

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $f_{ob} = 50 \text{ cm}$  ;  $f_{ok} = -5 \text{ cm}$

Ditanya: a)  $\gamma = \dots?$

b)  $d = \dots?$

Jawab:

$$\text{a. } \gamma = \left| \frac{f_{ob}}{S_{ok}} \right| = \left| \frac{50}{-5} \right| = 10 \text{ kali}$$

$$\text{b. } d = f_{ob} + f_{ok}$$

$$d = 50 - 5 = 45 \text{ cm}$$

### Uji Pemahaman 3.1

**Kerjakan soal berikut!**

1. Seorang yang bermata jauh tidak bisa melihat jelas benda yang lebih dekat dari 150 cm. Ia ingin membaca normal. Berapakah nomor kaca-mata (kuat lensa) yang harus dipakai?

2. Seseorang memakai kacamata dengan lensa yang berkekuatan -2,5 dioptri. Berapakah titik dekat orang tersebut?
3. Seorang bermata normal mengamati benda dengan sebuah lup dari 18 dioptri, berapakah perbesaran sudutnya jika:
  - a. mata berakomodasi maksimum
  - b. mata tidak berakomodasi
4. Panjang tabung mikroskop 10 cm. Panjang fokus objektif dan okulernya 0,5 cm dan 2 cm. Hitunglah perbesaran sebuah benda yang diletakkan pada jarak 0,7 cm di muka lensa!
5. Sebuah teropong bumi dengan jarak titik fokus lensa objektif, pembalik, dan okuler berturut-turut 100 cm, 5 cm dan 2 cm digunakan untuk melihat pemandangan dari jarak jauh dengan mata tak berakomodasi. Berapa cm lensa okuler harus digeser dan ke mana arah pergeserannya agar orang tersebut dapat melihat dengan berakomodasi maksimum?

## Rangkuman

- Jenis mata antara lain mata normal, miopi, hipermetropi, dan presbiopi.
- Lup adalah alat yang terbuat dari sebuah lensa positif yang berfungsi untuk melihat benda-benda kecil.

$$\gamma = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{\tan \beta}{\tan \alpha} = \frac{S_n}{S}$$

- Mikroskop adalah alat untuk melihat benda-benda renik.

$$M = \frac{S'_{ob}}{S_{ob}} \times \frac{S'_{ok}}{S_{ok}}$$

$$d = S'_{ob} + S'_{ok}$$

$$\gamma = \frac{S'_{ob}}{S_{ob}} \times \frac{S_n}{S}$$

- Teropong adalah alat untuk melihat benda jauh  
Macam-macam teropong: teropong bintang, teropong bumi, dan teropong tonil.

$$\gamma = \frac{\tan \beta}{\tan \alpha}$$

## KATA KUNCI

- kornea mata
- pupil
- iris
- lensa mata
- retina
- titik jauh
- titik dekat
- emetrop
- miopi
- presbiopi
- kekuatan lensa
- daya akomodasi



## JI KOMPETENSI

### A. Pilihlah salah satu jawaban yang benar!

1. Perbesaran sudut pada lup untuk mata yang berakomodasi maksimal ....
  - a. sama dengan perbesaran liniernya.
  - b. lebih besar daripada perbesaran liniernya
  - c. lebih kecil daripada perbesaran liniernya
  - d. jarak titik dekat mata dibagi jarak fokus lup
  - e. jarak fokus lup dibagi titik dekat mata
2. Pernyataan tentang cacat mata berikut ini yang benar adalah ....
  - a. rabun jauh dapat dinormalkan dengan memakai kacamata bikonvek.
  - b. rabun dekat dapat dinormalkan dengan memakai kacamata positif
  - c. rabun jauh dapat dinormalkan dengan memakai kacamata positif
  - d. rabun dekat dapat dinormalkan dengan memakai kacamata negatif
  - e. rabun jauh, sebaiknya menggunakan kacamata jenis silindrik
3. Seorang yang cacat mata miopi tak mampu melihat dengan jelas benda yang terletak lebih 50 cm dari mata. Kacamata yang dibutuhkan untuk melihat benda jauh harus mempunyai kekuatan sebesar ....
  - a. -4 dioptri
  - b. -2 dioptri
  - c. +2 dioptri
  - d. +5 dioptri
  - e. +2 dioptri
4. Dalam sebuah mikroskop, bayangan yang dibentuk oleh lensa objektif ....
  - a. nyata, tegak, diperbesar
  - b. nyata, terbalik, diperbesar
  - c. nyata, terbalik, diperkecil
  - d. maya, tegak, diperbesar
  - e. maya, tegak, diperkecil

5. Untuk melihat suatu benda di bawah mikroskop yang jarak fokus objektifnya 8 mm, maka benda tersebut tidak boleh diletakkan di bawah objektif sejauh ....
  - a. 9 mm
  - b. 15 mm
  - c. 11 mm
  - d. 17 mm
  - e. 13 mm
6. Benda setinggi 2 mm diletakkan di depan lup yang berkekuatan 50 dioptri sehingga dapat diamati dengan jelas oleh mata tanpa berakomodasi. Menurut pengamat tinggi benda tersebut adalah ....
  - a. 2,6 cm
  - b. 2,5 cm
  - c. 26 cm
  - d. 25 cm
  - e. 32 cm
7. Sebuah teropong bintang diarahkan ke bulan dengan pengamatan tanpa berakomodasi. Agar dapat mengamati dengan berakomodasi maksimal maka lensa okuler ....
  - a. harus digeser ke dalam
  - b. tetap pada tempat semula
  - c. harus digeser keluar
  - d. diganti lensa negatif
  - e. kekuatan lensa diganti yang lebih kuat
8. Sebuah lup yang jarak titik apinya 6 cm digunakan untuk mengamati sebuah benda pada jarak baca 25 cm. Jarak benda perbesaran lup dan perbesaran liniernya masing-masing adalah ....
  - a.  $1\frac{17}{19}$  cm ;  $5\frac{1}{6}$  cm ;  $5\frac{1}{6}$  cm
  - b.  $7\frac{17}{19}$  cm ;  $4\frac{1}{6}$  cm ;  $3\frac{1}{6}$  cm
  - c.  $4\frac{26}{31}$  cm ;  $5\frac{1}{6}$  cm ;  $5\frac{1}{6}$  cm
  - d.  $4\frac{26}{31}$  cm ;  $4\frac{1}{6}$  cm ;  $3\frac{1}{6}$  cm
  - e. 25 cm ;  $4\frac{1}{6}$  cm ; 1 cm
9. Mata dan kamera mempunyai beberapa kesamaan, pasangan yang tidak merupakan kesamaan yang dimaksud itu adalah ....
  - a. retina dan film
  - b. iris dan lensa
  - c. kelompok mata dan shutter
  - d. pupil dan lubang diafragma
  - e. lensa mata dan lensa kamera
10. Pernyataan berikut menunjukkan jenis lensa yang digunakan pada alat optik. Pernyataan yang benar adalah ....
 

Alat	Objektif	Okuler
a. mikroskop	(+)	(-)
b. lup	(+)	(-)
c. teropong bintang	(+)	(-)
d. teropong tonil	(+)	(-)
e. kamera	(+)	(-)

## B. Kerjakan soal di bawah ini!

1. Seorang yang berpenglihatan jauh tidak dapat melihat benda dengan jelas pada jarak lebih dekat dari 50 cm. Hitung kuat lensa pada kaca-mata yang harus dipakai untuk melihat normal!
2. Seorang yang bertitik dekat 40 cm mengamati benda kecil dengan menggunakan lup yang berkekuatan 10 dioptri, dengan berakomodasi maksimum. Berapa perbesaran sudutnya jika posisi mata orang tersebut:
  - a) berimpit dengan lup
  - b) berjarak 5 cm dari lup
3. Toni memotret menggunakan kamera yang lensanya berkekuatan 20,5 dioptri. Jarak lensa sampai film = 5 cm. Berapakah jarak benda yang dipotret dengan lensa agar diperoleh bayangan jelas pada film?
4. Teropong bintang dengan jarak titik fokus lensa objektif dan lensa okuler berturut 2 m dan 5 cm digunakan oleh orang bermata normal untuk melihat bulan purnama. Diameter bulan purnama yang terlihat melalui teropong  $32^\circ$ . Berapakah diameter bulan purnama yang terlihat jika tanpa menggunakan teropong?
5. Sebuah mikroskop dengan kekuatan lensa objektif dan lensa okuler berturut-turut 25 Dioptri dan 10 Dioptri digunakan melihat benda renik oleh orang yang mempunyai titik dekat 40 cm. Letak benda renik 6 cm di bawah lensa objektif dan jarak mata terhadap lensa okuler = 5 cm. Jika ia ingin melihat dengan berakomodasi pada jarak 50 cm, tentukan:
  - a. perbesaran sudut mikroskop
  - b. panjang tubus mikroskop



# 4

## SUHU DAN KALOR

Setelah mempelajari materi "Suhu dan Kalor" diharapkan Anda dapat menganalisis pengaruh kalor terhadap perubahan suhu benda, terhadap ukuran benda, pengaruh kalor terhadap perubahan wujud benda, serta penerapan asas Black. Selain itu diharapkan Anda dapat menganalisis perpindahan kalor dengan cara konduksi, konveksi dan radiasi.





## A. SUHU

Jika kita membahas tentang suhu suatu benda, tentu terkait erat dengan panas atau dinginnya benda tersebut. Dengan alat perasa, kita dapat membedakan benda yang panas, hangat atau dingin.

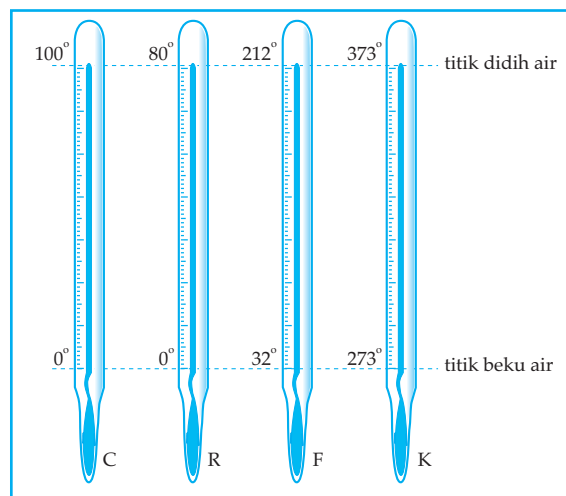
Benda yang panas kita katakan suhunya lebih tinggi dari benda yang hangat atau benda yang dingin. Benda yang hangat suhunya lebih tinggi dari benda yang dingin. Dengan alat perasa kita hanya dapat membedakan suhu suatu benda secara kualitatif. Akan tetapi di dalam fisika kita akan menyatakan panas, hangat, dingin dan sebagainya secara eksak yaitu secara kuantitatif (dengan angka-angka).

Secara sederhana suhu didefinisikan sebagai derajat panas dinginnya suatu benda. Ada beberapa sifat benda yang berubah apabila benda itu dipanaskan, antara lain adalah warnanya, volumenya, tekanannya dan daya hantar listriknya. Sifat-sifat benda yang berubah karena dipanaskan disebut *sifat termometrik*.

Suhu termasuk besaran pokok dalam fisika yang dalam S.I. bersatuan Kelvin.

### Alat Ukur Suhu

Untuk menyatakan suhu suatu benda secara kuantitatif diperlukan alat ukur yang disebut *termometer*. Ada beberapa jenis termometer dengan menggunakan konsep perubahan-perubahan sifat karena pemanasan. Pada termometer raksa dan termometer alkohol menggunakan sifat perubahan volum karena pemanasan. Ada beberapa termometer yang menggunakan sifat perubahan volum karena pemanasan, antara lain: Celcius, Reamur, Fahrenheit dan Kelvin. Masing-masing termometer tersebut mempunyai ketentuan-ketentuan tertentu dalam menetapkan nilai titik didih air dan titik beku air pada tekanan 1 atm, seperti terlihat pada gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Beberapa macam termometer

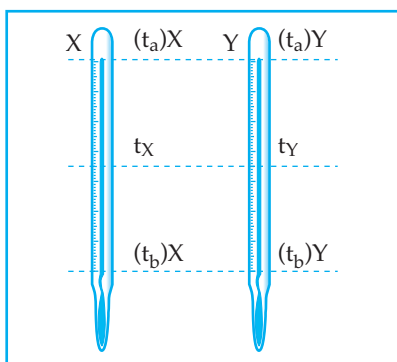
Dari ketentuan tersebut diperoleh perbandingan skala dari keempat termometer tersebut sebagai berikut:

$$C : R : (F - 32) : (K - 273) = 5 : 4 : 9 : 5$$

Hubungan antara termometer Celcius dan Kelvin secara khusus dapat dinyatakan:

$$t^{\circ}\text{C} = (t + 273) \text{ K} \quad \text{atau} \quad t\text{K} = (t - 273)^{\circ}\text{C}$$

Secara umum hubungan termometer yang satu dengan yang lain adalah sebagai berikut:



$$\frac{(t_a)X - t_x}{(t_a)X - (t_b)X} = \frac{(t_a)Y - t_y}{(t_a)Y - (t_b)Y}$$

Gambar 4.2

Perbandingan skala termometer secara umum

#### Contoh Soal 4.1

1. Suhu sebuah benda  $80^{\circ}\text{C}$  nyatakan suhu benda tersebut dalam derajat Reamur dan derajat Fahrenheit.

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $t = 80^{\circ}\text{C}$

Ditanya: a)  $^{\circ}\text{R} = \dots?$

b)  $^{\circ}\text{F} = \dots?$

Jawab :

a)  $C : R = 5 : 4$

$$80 : R = 5 : 4$$

$$5 R = 320$$

$$R = 64^{\circ}\text{R}$$

$$\text{Jadi } 80^{\circ}\text{C} = 64^{\circ}\text{R}$$

b)  $C : (F - 32) = 5 : 9$

$$80 : (F - 32) = 5 : 9$$

$$5(F - 32) = 720$$

$$5F - 160 = 720$$

$$5F = 880$$

$$F = 176$$

$$\text{Jadi } 80^{\circ}\text{C} = 176^{\circ}\text{F}$$

2. Termometer Celcius dan Reamur digunakan untuk mengukur suhu suatu benda ternyata jumlah skala yang ditunjukkan oleh kedua termometer =  $90^{\circ}$ . Berapa  $^{\circ}\text{C}$  dan  $^{\circ}\text{R}$  suhu benda tersebut?

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $C + R = 90^{\circ}$

Ditanya:  $t$  dalam  $^{\circ}\text{C}$  dan  $^{\circ}\text{R}$

Jawab :

$$C + R = 90$$

$$R = 90 - C$$

$$C: R = 5 : 4$$

$$C: (90 - C) = 4C$$

$$450 - 5C = 4C$$

$$450 = 9C$$

$$C = 50$$

$$R = 90 - C$$

$$R = 90 - 50 = 40$$

Jadi suhu benda tersebut:  $50^{\circ}\text{C}$  dan  $40^{\circ}\text{R}$

3. Sebuah termometer  $x$  setelah ditera dengan termometer Celcius di dapat  $40^{\circ}\text{C} = 80^{\circ}\text{x}$  dan  $20^{\circ}\text{C} = 50^{\circ}\text{x}$ . Jika suhu sebuah benda  $80^{\circ}\text{C}$ , maka berapa  $^{\circ}\text{x}$  suhu benda tersebut?

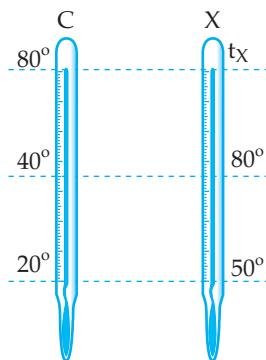
*Penyelesaian:*

Diketahui:  $40^{\circ}\text{C} = 80^{\circ}\text{x}$

$20^{\circ}\text{C} = 50^{\circ}\text{x}$

Ditanya:  $80^{\circ}\text{C} = \dots^{\circ}\text{x}$

Jawab :



$$\frac{80 - 40}{80 - 20} = \frac{tx - 80}{tx - 50}$$

$$\frac{40}{60} = \frac{tx - 80}{tx - 50}$$

$$\frac{40}{60} = \frac{tx - 80}{tx - 50}$$

$$4(tx - 50) = 6(tx - 80)$$

$$4tx - 200 = 6tx - 480$$

$$2tx = 280$$

$$tx = 140$$

Jadi  $80^{\circ}\text{C} = 140^{\circ}\text{x}$



## Percobaan 4.1: Pengukuran suhu

Ukurlah suhu udara di ruangan di mana Anda belajar dan hasilnya masukkan dalam tabel.

Ukurlah suhu badan Anda dengan meletakkan termometer ke dalam ketiak Anda dan hasilnya masukkan dalam tabel.

### Diskusi

- Apakah yang harus Anda perhatikan sebelum Anda melakukan pengukuran suhu?
- Sebutkan kelebihan menggunakan termometer raksa!
- Sebutkan kelebihan menggunakan termometer alkohol!
- Bagaimanakah cara mengukur suhu suatu benda yang sangat tinggi, misalnya suhu dari biji-biji logam dalam tungku peleburan?
- Bagaimanakah cara memperkirakan suhu dari bintang-bintang di angkasa?

## Uji Pemahaman 4.1

### Kerjakan soal berikut!

- Dasar apakah yang digunakan untuk Mengukur Suhu?
- Mengapa untuk memperkirakan suhu bintang-bintang di langit dapat berdasar warna cahaya bintang tersebut?
- $40^{\circ}\text{C} = \dots\dots\dots$   $^{\circ}\text{R} = \dots\dots\dots$   $^{\circ}\text{F} = \dots\dots\dots$   $^{\circ}\text{K}$
- $323^{\circ}\text{K} = \dots\dots\dots$   $^{\circ}\text{C} = \dots\dots\dots$   $^{\circ}\text{R} = \dots\dots\dots$   $^{\circ}\text{F}$
- Pada suhu berapa derajat Celcius dan berapa derajat Reamur skala suhu keduanya berselisih  $20^{\circ}$ ?
- Pada suhu berapa  $^{\circ}\text{C}$  dan berapa  $^{\circ}\text{F}$  skala suhu keduanya sama?
- Termometer X menyatakan air membeku pada suhu  $10^{\circ}\text{X}$  dan air mendidih pada suhu  $160^{\circ}\text{X}$ . Berapa skala pada termometer X pada saat suhu dalam derajat Celcius =  $40^{\circ}\text{C}$ ?
- Sebuah termometer A, menunjukkan skala  $20^{\circ}\text{A}$  pada saat es sedang mencair dan  $100^{\circ}\text{A}$  pada saat air sedang mendidih. Bila termometer ini menunjukkan skala  $60^{\circ}\text{A}$ , maka berapakah skala yang ditunjukkan oleh Termometer:  
a. Celcius      c. Fahrenheit      b. Reamur      d. Kelvin
- Apa yang harus diperhatikan jika Anda merancang sebuah termometer?
- Disebut apakah skala Kelvin?

## B. KALOR

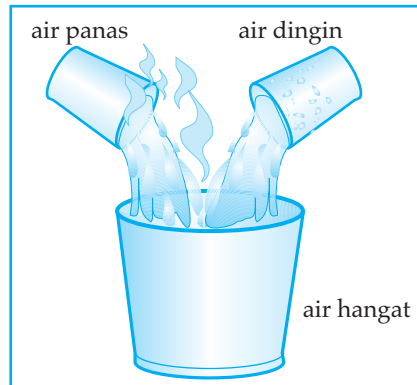
Kalor merupakan salah satu bentuk energi yang dapat berpindah dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah jika kedua benda tersebut saling disentuhkan. Karena kalor merupakan suatu bentuk energi, maka satuan kalor dalam S.I. adalah Joule dan dalam CGS adalah erg.

$$1 \text{ Joule} = 10^7 \text{ erg.}$$

Dahulu sebelum orang mengetahui bahwa kalor merupakan suatu bentuk energi, maka orang sudah mempunyai satuan untuk kalor adalah *kalori*.

$$1 \text{ kalori} = 4,18 \text{ joule atau } 1 \text{ Joule} = 0,24 \text{ kal.}$$

### 1. Pengaruh Kalor Terhadap Suhu



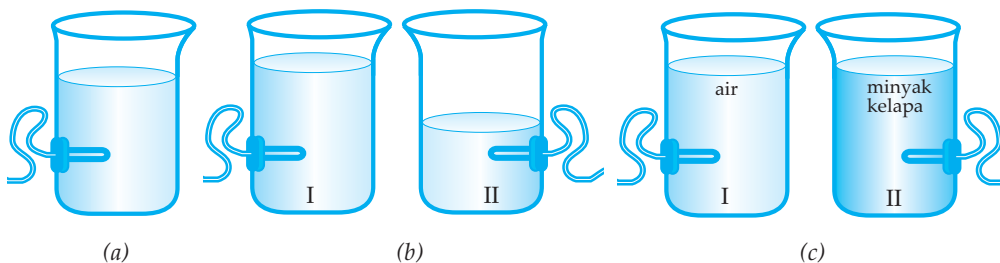
Gambar 4.3 Pengaruh kalor terhadap suhu benda

Dari gambar 4.3. terlihat bahwa jika satu gelas air panas dicampur dengan satu gelas air dingin, setelah terjadi keseimbangan termal menjadi air hangat. Hal tersebut dapat terjadi karena pada saat air panas dicampur dengan air dingin maka air panas melepaskan kalor sehingga suhunya turun dan air dingin menyerap kalor sehingga suhunya naik.

Dengan demikian jika terdapat suatu benda yang menerima kalor suhunya akan naik. Faktor apakah yang mempengaruhi banyaknya kalor yang diserap oleh suatu zat? Untuk lebih jelasnya lakukan kegiatan di bawah ini!



#### Percobaan 4.2: Pengaruh kalor terhadap suhu benda



### **Kegiatan 1**

Masukkan air secukupnya ke dalam alat pemanas (gambar (a)). Ukurlah suhu air mula-mula dan hasilnya masukkan dalam tabel. Hubungkan alat pemanas dengan sumber listrik PLN dan catatlah suhu air tiap 3 menit selama 9 menit (0 menit, 3 menit, 6 menit dan 9 menit). Masukkan hasilnya dalam tabel. Bagaimana hubungan antara banyaknya kalor yang diserap air dan lamanya waktu penyerapan kalor tersebut?

### **Kegiatan 2**

Masukkan air ke dalam alat pemanas I dan alat pemanas II dengan volum yang tidak sama (gambar (b)). Ukurlah suhu air mula-mula yang berada dalam alat pemanas I dan alat pemanas II. Hubungkan alat pemanas I dan alat pemanas II dengan sumber listrik PLN dan catatlah suhunya setelah 10 menit (sebelum air mendidih) dan hasilnya masukkan dalam tabel. Bagaimanakah hubungan antara massa air dengan banyaknya kalor yang diserap?

Catatan: Air yang bervolum lebih banyak, mempunyai massa yang lebih besar.

### **Kegiatan 3**

Masukkan air secukupnya ke dalam alat pemanas I dan minyak kelapa dengan massa yang sama dengan massa air ke dalam alat pemanas II seperti gambar (c) di atas. Ukurlah suhu mula-mula dari air dan minyak kelapa tersebut dan hasilnya masukkan dalam tabel. Hubungkan alat pemanas I dan alat pemanas II dengan sumber listrik PLN dan catatlah suhu air dan suhu minyak kelapa setelah 10 menit (sebelum mendidih) dan hasilnya masukkan dalam tabel. Bagaimanakah hubungan antara jenis zat yang dipanaskan dengan banyak kalor yang diserap?

#### **Kesimpulan**

Dari ketiga kegiatan di atas buatlah kesimpulan mengenai faktor-faktor apa sajakah yang mempengaruhi banyaknya kalor yang diserap oleh suatu benda!

## **2. Kalor Jenis dan Kapasitas Kalor**

Kalor dapat diberikan kepada benda atau diambil darinya. Kalor dapat diberikan pada suatu benda dengan cara pemanasan dan sebagai salah satu dampak adalah kenaikan suhunya. Kalor dapat diambil dari suatu benda dengan cara pendinginan dan sebagai salah satu dampak adalah penurunan suhu. Jadi, salah satu dampak dari pemberian atau pengurangan kalor adalah perubahan suhu yang diberi lambang  $\Delta t$ .

Hasil percobaan di atas menunjukkan bahwa, dari pemanasan air dan minyak kelapa dengan massa air dan minyak kelapa yang sama, dengan selang waktu pemanasan yang sama ternyata banyaknya kalor yang diserap oleh air dan minyak kelapa tidak sama.

Untuk membedakan zat-zat dalam hubungannya dengan pengaruh kalor pada zat-zat itu digunakan konsep kalor jenis yang diberi lambang “c”. Kalor jenis suatu zat didefinisikan sebagai banyaknya kalor yang diperlukan atau dilepaskan untuk menaikkan atau menurunkan suhu satu satuan massa zat itu sebesar satu satuan suhu. Jika suatu zat yang massanya m memerlukan atau melepaskan kalor sebesar Q untuk mengubah suhunya sebesar ΔT, maka kalor jenis zat itu dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

atau

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Satuan dalam S.I.:

c dalam J/Kg . K

Q dalam joule

m dalam Kg

ΔT dalam Kelvin

Data pada tabel 4.1 berikut menyatakan nilai kalor jenis dari beberapa zat.

**Tabel 4.1**  
**Kalor jenis beberapa zat dalam J/Kg.K**

Zat	Kalor jenis	Zat	Kalor jenis
Air	4.180	Kuningan	376
Air laut	3.900	Raksa	140
Aluminium	903	Seng	388
Besi	450	Spiritus	240
Es	2.060	Tembaga	385
Kaca	670	Timbal	130

Dari persamaan  $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ , untuk benda-benda tertentu nilai dari  $m \cdot c$  adalah konstan. Nilai dari  $m \cdot c$  disebut juga dengan kapasitas kalor yang diberi lambang "C" (huruf kapital). Kapasitas kalor didefinisikan sebagai banyaknya kalor yang diperlukan atau dilepaskan untuk mengubah suhu benda sebesar satu satuan suhu.

Persamaan kapasitas kalor dapat dinyatakan dengan:

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

atau

$$Q = C \cdot \Delta T$$

Satuan dari C adalah J/K

Dari persamaan:  $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$  dan  $Q = C \cdot \Delta T$

diperoleh:

$$C = m \cdot c$$

### 3. Asas Black

Bila dua zat yang suhunya tidak sama dicampur maka zat yang bersuhu tinggi akan melepaskan kalor sehingga suhunya turun dan zat yang bersuhu rendah akan menyerap kalor sehingga suhunya naik sampai terjadi kesetimbangan termal. Karena kalor merupakan suatu energi maka berdasar hukum kekekalan energi diperoleh kalor yang dilepaskan sama dengan kalor yang diserap.

Konsep tersebut sering disebut dengan azas Black, yang secara matematis dapat dinyatakan:

$$Q_{\text{dilepaskan}} = Q_{\text{diserap}}$$

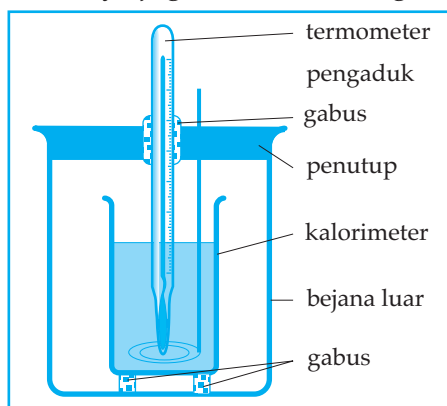
### 4. Mengukur Kalor

Pengukuran kalor sering dilakukan untuk menentukan kalor jenis suatu zat. Dengan mengetahui kalor jenis suatu zat maka dapat dihitung banyaknya kalor yang dilepaskan atau diserap dengan mengetahui massa zat dan perubahan suhunya, menggunakan persamaan:  $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$

Alat yang dapat digunakan untuk mengukur kalor adalah kalorimeter. Salah satu bentuk kalorimeter ialah kalorimeter campuran yang secara bagan tampak pada gambar 4.4 di bawah ini.

Kalorimeter terdiri atas sebagai berikut.

- Sebuah bejana kecil terbuat dari logam tipis yang di gosok mengkilat. Bejana inilah yang dinamakan kalorimetrynya.
- Sebuah bejana yang agak besar, untuk memasukkan kalorimetrynya. Di antara kedua bejana itu dipasang isolator yang berfungsi untuk mengurangi kehilangan kalor karena dihantarkan atau dipancarkan sekitarnya.
- Penutup dari isolator panas yang telah dilengkapi dengan termometer dan pengaduk. Pengaduk biasanya juga terbuat dari logam sejenis.



Gambar 4.4 kalorimeter

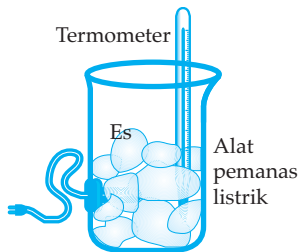


5. Perubahan Wujud Zat

Wujud zat dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu zat padat, zat cair dan zat gas. Wujud suatu zat dapat berubah dari wujud zat yang satu menjadi wujud yang lain. Perubahan wujud dapat disebabkan karena pengaruh kalor. Untuk lebih jelasnya, lakukan percobaan di bawah ini.



Percobaan 4.3: Perubahan wujud zat



Masukkan beberapa gumpal es ke dalam alat pemanas (lihat gambar). Masukkan termometer ke dalam alat pemanas dan ukurlah suhu es tersebut. Suhu es = ....<sup>o</sup>C. Hubungkan alat pemanas listrik dengan sumber listrik PLN dan perhatikan wujud es tersebut. Pada saat es mulai mencair (terdapat es padat dan es cair), ukurlah suhunya. Suhu es yang sedang mencair = .... <sup>o</sup>C. Bagaimanakah suhu es yang sedang mencair?

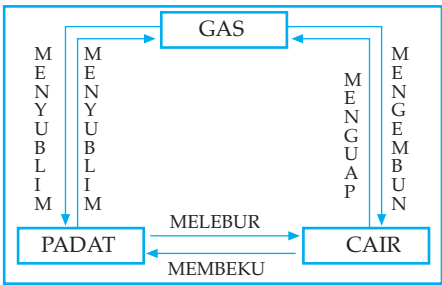
Lanjutkan pemanasan es tersebut sampai semua es mencair menjadi air. Setelah semua es menjadi air pemanasan terus dilanjutkan. Bagaimanakah suhu air yang sedang dipanaskan?

Lanjutkan pemanasan air tersebut sampai air mendidih.

- 1) Suhu air yang sedang mendidih = . . . . .<sup>o</sup>C.
- 2) Bagaimana suhu air yang sedang mendidih?

Apakah yang dapat Anda simpulkan dari percobaan di atas?

Perubahan wujud zat selain karena penyerapan kalor, dapat juga karena pelepasan kalor. Setiap terjadi perubahan wujud terdapat nama-nama tertentu. Berikut adalah skema perubahan wujud zat beserta nama perubahan wujud zat tersebut.



Gambar 4.5 Skema perubahan wujud zat

**Tabel 4.2**

No.	Nama	Perubahan		
		dari wujud	ke wujud	Kalor
1.	mencair	padat	cair	diserap
2.	menguap	cair	gas	diserap
3.	menyublim	padat	gas	diserap
4.	membeku	cair	padat	dilepas
5.	mengembun	gas	cair	dilepas
6.	menyublim	gas	padat	dilepas

Hasil percobaan di atas menunjukkan bahwa pada saat es sedang mencair atau pada saat air sedang menguap suhunya tetap, walaupun kalor terus diberikan. Dengan kata lain pada saat zat mengalami perubahan wujud, suhu zat tersebut tetap, sehingga selama terjadi perubahan wujud zat seakan-akan kalor tersebut disimpan. Kalor yang tersimpan tersebut disebut kalor laten, yang diberi lambang "L".

Banyaknya kalor yang diserap atau dilepaskan selama terjadi perubahan wujud dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$Q = m \cdot L$$

$Q$  = banyak kalor yang diserap atau dilepaskan (dalam joule)

$m$  = massa zat yang mengalami perubahan wujud (dalam Kg)

$L$  = kalor laten (dalam Joule / Kg)

Nama-nama kalor laten, antara lain:

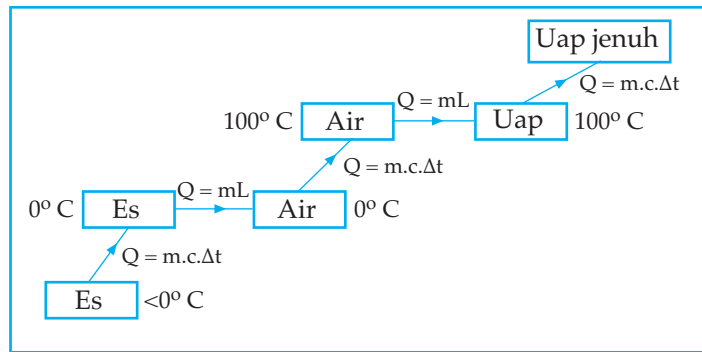
- pada saat melebur disebut kalor lebur
- pada saat menguap disebut kalor uap
- pada saat menyublim disebut kalor sublim
- pada saat membeku disebut kalor beku
- pada saat mengembun disebut kalor embun

Dari hasil percobaan yang dilakukan oleh para ilmuwan diperoleh:

$$\text{Kalor uap} = \text{Kalor embun}$$

$$\text{Kalor lebur} = \text{Kalor beku}$$

Perubahan wujud es sampai menjadi uap jenuh, beserta persamaan kalor yang diserap dapat digambarkan seperti bagan di bawah ini.



Gambar 4.6 Perubahan wujud air dan kalor yang diserap

- Dari es dengan suhu  $<0^{\circ}\text{C}$  sampai es  $0^{\circ}\text{C}$ , kalor yang diserap:  
 $Q = m_{\text{es}} \cdot C_{\text{es}} \cdot \Delta t$
- Dari es dengan suhu  $0^{\circ}\text{C}$  sampai air  $0^{\circ}\text{C}$  (es melebur), kalor yang diserap:  
 $Q = m_{\text{es}} \cdot L_{\text{es}}$
- Dari air dengan suhu  $0^{\circ}\text{C}$  sampai air  $100^{\circ}\text{C}$ , kalor yang diserap:  
 $Q = m_{\text{a}} \cdot C_{\text{a}} \cdot \Delta t \rightarrow m_{\text{a}} = m_{\text{es}}$
- Dari air dengan suhu  $100^{\circ}\text{C}$  sampai uap  $100^{\circ}\text{C}$  (air mendidih), kalor yang diserap:  $Q = m_{\text{a}} \cdot L_{\text{u}}$
- Dari uap dengan suhu  $100^{\circ}\text{C}$  sampai uap jenuh, kalor yang diserap:  
 $Q = m_{\text{u}} \cdot C_{\text{u}} \cdot \Delta t \rightarrow m_{\text{u}} = m_{\text{a}} = m_{\text{es}}$

#### Contoh Soal 4.2

1. Berapakah kalori kalor yang diperlukan untuk memanaskan 2 liter air dari  $30^{\circ}\text{C}$  menjadi  $80^{\circ}\text{C}$  jika massa jenis air =  $1 \text{ gram/cm}^3$  dan kalor jenis air =  $1 \text{ kal/gr}^{\circ}\text{C}$ ?

Penyelesaian:

Diketahui:  $V = 2 \text{ liter} = 2 \cdot 10^3 \text{ cm}^3$

$\Delta t = 80^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C} = 50^{\circ}\text{C}$

$\rho = 1 \text{ gram/cm}^3$

$c = 1 \text{ kal/gr}^{\circ}\text{C}$

Ditanya:  $Q = \dots?$

Jawab:  $m = \rho \cdot V = 1 \times 2 \times 10^3 = 2 \cdot 10^3 \text{ gram}$

$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$

$Q = 2 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 50$

$Q = 10^5 \text{ kalori}$

2. Berapakah kapasitas kalor dari 5 kg suatu zat yang mempunyai kalor jenis 2 kal/gr°C?

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $m = 5 \text{ kg} = 5000 \text{ gram}$

$$c = 2 \text{ kal/gr}^\circ\text{C}$$

Ditanya:  $C = \dots?$

Jawab:  $Q = m \cdot c \cdot \Delta t$

$$Q = C \cdot \Delta t$$

$$C = m \cdot c$$

$$C = 5000 \cdot 2 = 10.000 \text{ kal/}^\circ\text{C}$$

3. Sebuah kalori meter dengan kapasitas 80 J/°C mula-mula diisi dengan 200 gram air dengan suhu 100°C. Kemudian ke dalam kalorimeter dimasukkan lagi sebuah logam yang bermassa 100 gram dengan suhu 40°C. Setelah tercapai kesetimbangan termal diperoleh suhu akhir campuran 60°C. Berapakah kalor jenis logam tersebut? (kalor jenis air = 1 kal/gr°C).

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $C_K = 80 \text{ J/}^\circ\text{C} = 19,2 \text{ kal/}^\circ\text{C}$

$$t_L = 40^\circ\text{C}$$

$$m_a = 200 \text{ gram}$$

$$C_a = 1 \text{ kal/hgr}^\circ\text{C}$$

$$t_a = t_k = 100^\circ\text{C}$$

$$t = 60^\circ\text{C}$$

$$m_L = 100 \text{ gram}$$

Ditanya:  $C_L = \dots?$

Jawab:

Kalor yang dilepaskan oleh:

Kalor yang diserap logam:

a) Kalori meter

$$Q_3 = m_L \cdot C_L \cdot \Delta t$$

$$Q_1 = C_K \cdot \Delta t$$

$$Q_3 = 100 \cdot C_L \cdot (60-40)$$

$$Q_1 = 19,2 \cdot (100-60) = 768 \text{ kal.}$$

$$= 2000 C_L$$

b) air

Azas Black:

$$Q_2 = m_a \cdot C_a \cdot \Delta t$$

$$Q_1 + Q_2 = Q_3$$

$$Q_2 = 200 \cdot 1 \cdot (100-60)$$

$$768 + 8000 = 2000 C_L$$

$$= 8000 \text{ kal}$$

$$8768 = 2000 C_L$$

$$C_L = 4,384 \text{ kal/gr}^\circ\text{C}$$

4. Berapakah kalori yang diperlukan untuk merubah 500 gram es dari  $-20^{\circ}\text{C}$  agar menjadi air  $40^{\circ}\text{C}$ , jika diketahui  $C_{\text{es}} = 0,5 \text{ kal/gr}^{\circ}\text{C}$ ;  $L_{\text{es}} = 80 \text{ kal/gr}$ ;  $C_{\text{a}} = 1 \text{ kal/gr}^{\circ}\text{C}$

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $m_{\text{es}} = 500 \text{ gram}$

$$C_{\text{es}} = 0,5 \text{ kal/gr}^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{es}} = -20^{\circ}\text{C}$$

$$L_{\text{es}} = 80 \text{ kal/gr}$$

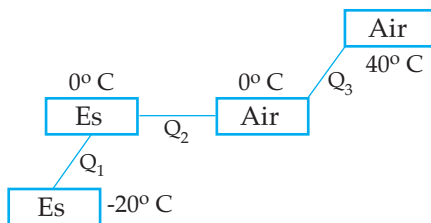
$$t_{\text{a}} = 40^{\circ}\text{C}$$

$$C_{\text{a}} = 1 \text{ kal/gr}^{\circ}\text{C}$$

Ditanya:  $Q = \dots?$

Jawab:

Skema perubahan es sebagai berikut:



$$Q_1 = m_{\text{es}} \cdot C_{\text{es}} \cdot \Delta t$$

$$Q_1 = 500 \cdot 0,5 \cdot 2 = 500 \text{ kal}$$

$$Q_2 = m_{\text{es}} \cdot L_{\text{es}}$$

$$Q_2 = 500 \cdot 80 = 40.000 \text{ kal}$$

$$Q_3 = m_{\text{a}} \cdot C_{\text{a}} \cdot \Delta t \rightarrow m_{\text{a}} = m_{\text{es}}$$

$$Q_3 = 500 \cdot 1 \cdot 40 = 20.000 \text{ kal}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q = 500 + 40.000 + 20.000$$

$$Q = 60.500 \text{ kal}$$

## Uji Pemahaman 4.2

**Kerjakan soal berikut!**

1. Apakah perbedaan antara suhu dan kalor?
2. Untuk apakah kalor yang diserap atau dilepaskan pada saat terjadi perubahan wujud zat?
3. Sebutkan perubahan wujud zat yang memerlukan kalor!
4. Berapakah kalori yang diperlukan untuk mengubah 50 gram es dari  $-2^{\circ}\text{C}$  menjadi air  $10^{\circ}\text{C}$ , jika  $c_{\text{es}} = 0,5 \text{ kal/gr}^{\circ}\text{C}$ ,  $L_{\text{es}} = 80 \text{ kal/gr}$  dan  $c_{\text{air}} = 1 \text{ kal/gr}^{\circ}\text{C}$ ?
5. 50 gram air dengan suhu  $20^{\circ}\text{C}$  dicampur dengan 100 gram air bersuhu  $80^{\circ}\text{C}$ . Berapakah suhu akhir campuran setelah terjadi kesetimbangan termal?

6. Berapakah kapasitas kalor pada 100 mL air yang mempunyai kalor jenis  $1 \text{ kal/gr}^\circ \text{C}$  dan massa jenis  $1 \text{ gr/cm}^3$ ?
7. 10 gram es dengan suhu  $-2^\circ \text{C}$  dicampur dengan 100 gram air bersuhu  $30^\circ \text{C}$ . Berapakah suhu akhir campuran setelah terjadi kesetimbangan termal jika  $c_{\text{es}} = 0,5 \text{ kal/gr}^\circ \text{C}$ ,  $L_{\text{es}} = 80 \text{ kal/gr}$ ,  $c_{\text{air}} = 1 \text{ kal/gr}^\circ \text{C}$ ?
8. Ke dalam kalorimeter yang mempunyai kapasitas kalor  $84 \text{ J/K}$  dimasukkan air bersuhu  $80^\circ \text{C}$  sebanyak 100 gram dan logam dengan suhu  $20^\circ \text{C}$  sebanyak 10 gram. Setelah dicapai kesetimbangan termal diperoleh suhu akhir campuran  $40^\circ \text{C}$ . Berapakah kalor jenis logam tersebut?
9. Pada sebuah kompor listrik tertulis 220 V, 100 W, digunakan untuk memanaskan 1200 gram air dari  $30^\circ \text{C}$  sampai  $80^\circ \text{C}$ . Berapakah waktu yang digunakan?
10. Pada 100 gram es bersuhu  $-2^\circ \text{C}$  diberikan kalor sebanyak 800 kalori. Berapa gram es yang belum melebur?

### C. PEMUAIAN

Pada umumnya semua zat memuai jika dipanaskan, kecuali air pada suhu di antara  $0^\circ \text{C}$  dan  $4^\circ \text{C}$  volumenya menyusut. Pemuaian zat umumnya terjadi ke segala arah, ke arah panjang, ke arah lebar dan ke arah tebal. Namun pada pembahasan tertentu mungkin kita hanya memandang pemuaian ke satu arah tertentu, misalnya ke arah panjang, sehingga kita hanya membahas pemuaian panjang. Untuk zat cair karena bentuknya tidak tentu maka kita hanya membahas pemuaian volumenya. Untuk itu mari kita bahas pemuaian pada zat padat, zat cair dan zat gas.

#### 1. Pemuaian Zat Padat

Karena bentuk zat padat yang tetap, maka pada pemuaian zat padat dapat kita bahas pemuaian panjang, pemuaian luas, dan pemuaian volum.

##### a. Pemuaian panjang

Pemuaian panjang disebut juga dengan pemuaian linier.

Pemuaian panjang zat padat berlaku jika zat padat itu hanya dipandang sebagai satu dimensi (berbentuk garis). Di SMP materi ini sudah dibahas dan percobaan yang telah membahas tentang pemuaian panjang zat padat adalah percobaan Musschenbroek, dimana dari hasil percobaannya disimpulkan bahwa pertambahan panjang, zat padat yang dipanasi sebanding dengan panjang mula-mula, sebanding dengan kenaikan suhu dan tergantung pada jenis zat padat. Untuk membedakan sifat muai berbagai zat digunakan konsep koefisien muai.

Untuk pemuaian panjang digunakan konsep koefisien muai panjang atau koefisien muai linier yang dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara pertambahan panjang zat dengan panjang mula-mula zat, untuk tiap kenaikan suhu sebesar satu satuan suhu. Jika koefisien muai panjang dilambangkan dengan  $\alpha$  dan pertambahan panjang  $\Delta L$ , panjang mula-mula  $L_o$  dan perubahan suhu  $\Delta T$  maka koefisien muai panjang dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_o \cdot \Delta T}$$

sehingga satuan dari  $\alpha$  adalah  $\frac{1}{K}$  atau  $K^{-1}$

Dari persamaan di atas diperoleh pula persamaan:

$$\Delta L = \alpha \cdot L_o \cdot \Delta T \quad \text{dimana} \quad \Delta L = L_t - L_o$$

sehingga  $L_t - L_o = \alpha \cdot L_o \cdot \Delta T$  atau  $L_t = L_o + \alpha \cdot L_o \cdot \Delta T$

$$L_t = L_o \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

$L_t$ = panjang batang pada suhu  $t$

**Tabel 4.3. Koefisien muai panjang dari beberapa jenis zat padat**

Jenis bahan	Koefisien muai panjang (dalam $K^{-1}$ )
Kaca	0,000009
Baja / besi	0,000011
Aluminium	0,000026
Pirek (pyrex)	0,000003
Platina	0,000009
Tembaga	0,000017

### Kegiatan 4.1

Dampak dari pemuaian panjang ada yang bermanfaat, tetapi ada pula yang menimbulkan permasalahan. Dampak yang bermanfaat, antara lain: Untuk mengeling pelat logam, untuk Bimetal (pada alat pemberitahu ada kebakaran, termostad), untuk lampu arah kendaraan bermotor. Dampak pemuaian panjang yang menimbulkan permasalahan antara lain: kaca jendela pecah di musim panas, kerusakan pada jembatan, pemasangan rel kereta api.

Bentuklah kelompok, kemudian baca literatur yang terkait dengan permasalahan pemuaian kemudian presentasikan di depan kelas untuk menjelaskan terhadap kelompok yang lain tentang hal-hal yang terkait dengan dampak pemuaian panjang. Untuk lebih jelasnya gunakan bantuan gambar dalam memberi penjelasan pada saat presentasi.

## b. Pemuaian Luas

Jika zat padat tersebut mempunyai 2 dimensi (panjang dan lebar), kemudian dipanasi tentu baik panjang maupun lebarnya mengalami pemuaian atau dengan kata lain luas zat padat tersebut mengalami pemuaian. Koefisien muai pada pemuaian luas ini disebut dengan koefisien muai luas yang diberi lambang  $\beta$ .

Analog dengan pemuaian panjang, maka jika luas mula-mula  $A_o$ , pertambahan luas  $\Delta A$  dan perubahan suhu  $\Delta T$ , maka koefisien muai luas dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\beta = \frac{\Delta A}{A_o \cdot \Delta T}$$

atau 
$$\Delta A = \beta \cdot A_o \cdot \Delta T$$

$$\Delta A = A_t - A_o \text{ sehingga } A_t - A_o = \beta \cdot A_o \cdot \Delta T$$

$$A_t = A_o \cdot (1 + \beta \cdot \Delta T)$$

$A_t$  = luas zat padat pada suhu  $t$

Berdasarkan penurunan persamaan pemuaian luas, diperoleh nilai  $\beta = 2\alpha$ .

## c. Pemuaian Volum

Zat padat yang mempunyai bentuk ruang, jika dipanaskan mengalami pemuaian volum. Koefisien pemuaian pada pemuaian volum ini disebut dengan koefisien muai volum atau koefisien muai ruang yang diberi lambang  $\gamma$ .

Jika volum mula-mula  $V_o$ , pertambahan volum  $\Delta V$  dan perubahan suhu  $\Delta T$ , maka koefisien muai volum dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_o \cdot \Delta T}$$

atau 
$$\Delta V = \gamma \cdot V_o \cdot \Delta T$$

$$\Delta V = V_t - V_o \text{ sehingga } V_t - V_o = \gamma \cdot V_o \cdot \Delta T$$

$$V_t = V_o \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta T)$$

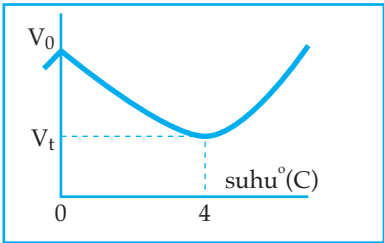
$V_t$  = volum zat padat pada suhu  $t$

$$\gamma = 3\alpha$$



2. Pemuaian Zat Cair

Pada pembahasan sebelumnya telah dijelaskan bahwa pada umumnya setiap zat memuai jika dipanaskan, kecuali air jika dipanaskan dari 0°C sampai 4°C, menyusut. Sifat keanehan air seperti itu disebut anomali air. Grafik anomali air seperti terlihat pada gambar 4.7. berikut.



Gambar 4.7 Grafik anomali air

- Keterangan:
- Pada suhu 4<sup>0</sup>C diperoleh:
- a) volum air terkecil
  - b) massa jenis air terbesar.

Karena pada zat cair hanya mengalami pemuaian volum, maka pada pemuaian zat cair hanya diperoleh persamaan

$$V_t = V_o \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta T)$$
$$\Delta V = V_o \cdot \gamma \cdot \Delta T$$

Tabel 4.4.

Koefisien muai ruang zat cair untuk beberapa jenis zat dalam satuan K<sup>-1</sup>

No.	Jenis zat cair	Koefisien muai ruang
1.	Alkohol	0,0012
2.	Air	0,0004
3.	Gliserin	0,0005
4.	Minyak parafin	0,0009
5.	Raksa	0,0002

3. Pemuaian Gas

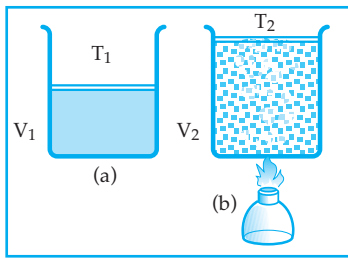
Jika gas dipanaskan, maka dapat mengalami pemuaian volum dan dapat juga terjadi pemuaian tekanan. Dengan demikian pada pemuaian gas terdapat beberapa persamaan, sesuai dengan proses pemanasannya.

a. Pemuaian volum pada tekanan tetap (Isobarik)

Gambar 4.8 (a): gas di dalam ruang tertutup dengan tutup yang bebas bergerak.

Gambar 4.8 (b): gas di dalam ruang tertutup tersebut dipanasi dan ternyata volum gas memuai sebanding dengan suhu mutlak gas.

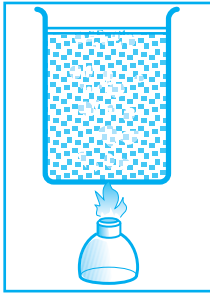
Jadi pada tekanan tetap, volum gas sebanding dengan suhu mutlak gas itu. Pernyataan itu disebut hukum Gay-Lussac .



Gambar 4.8 Proses isobarik

Secara matematik dapat dinyatakan:  $V \sim T$   
 atau  $\frac{V}{T} = \text{tetap}$  atau  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

### b. Pemuaiian tekanan gas pada volum tetap (Isokhorik)



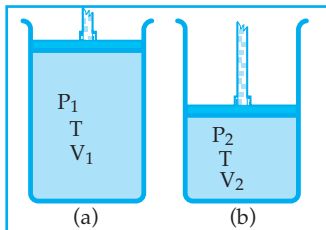
Gambar 4.9  
Proses isokhorik

Gambar 4.9: gas dalam ruang tertutup rapat yang sedang dipanasi. Jika pemanasan terus dilakukan maka dapat terjadi ledakan. Hal tersebut dapat terjadi karena selama proses pemanasan, tekanan gas di dalam ruang tertutup tersebut memuai. Pemuaiian tekanan gas tersebut sebanding dengan kenaikan suhu gas.

Jadi, pada volum tetap tekanan gas sebanding dengan suhu mutlak gas. Pernyataan itu disebut juga dengan hukum Gay-Lussac. Secara matematik dapat di-

nyatakan:  $P \sim T$  atau  $\frac{P}{T} = \text{tetap}$  atau  $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$

### c. Pemuaiian volum gas pada suhu tetap (Isotermis)



Gambar 4.10 Proses isotermis

Gambar 4.10 (a): Gas di dalam ruang tertutup dengan tutup yang dapat digerakkan dengan bebas.

Gambar 4.10 (b): Pada saat tutup tabung digerakkan secara perlahan-lahan, agar suhu gas di dalam tabung tetap maka pada saat volum gas diperkecil ternyata tekanan gas dalam tabung bertambah besar dan bila volum gas diperbesar ternyata tekanan gas dalam tabung mengecil.

Jadi, pada suhu tetap, tekanan gas berbanding terbalik dengan volum gas. Pernyataan itu disebut hukum Boyle. Salah satu penerapan hukum Boyle yaitu pada pompa sepeda. Dari hukum Boyle tersebut diperoleh:

$$P \cdot V = \text{tetap} \quad \text{atau} \quad P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

Jika pada proses pemuaiian gas terjadi dengan tekanan berubah, volum berubah dan suhu berubah maka dapat diselesaikan dengan persamaan hukum Boyle - Gay Lussac, dimana:

$$\frac{P \cdot V}{T} = \text{tetap} \quad \text{atau} \quad \frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

### Contoh soal 4.3

1. Sebatang besi yang panjangnya 80 cm, jika dipanasi sampai 50°C ternyata bertambah panjang 5 mm, maka berapa pertambahan panjang besi tersebut jika panjangnya 50 cm dipanasi sampai 60°C?

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $L_{o1} = 80 \text{ cm}$  ;  $L_{o2} = 50 \text{ cm}$

$$\Delta t_1 = 50^\circ\text{C} ; \Delta t_2 = 60^\circ\text{C}$$

$$\Delta L_1 = 5 \text{ mm}$$

Ditanya:  $\Delta L_2$

Jawab:

Karena jenis bahan sama (besi), maka:

$$\alpha_1 = \alpha_2$$

$$\frac{\Delta L_1}{L_o \cdot \Delta t_1} = \frac{\Delta L_2}{L_o \cdot \Delta t_2}$$

$$\frac{5}{80 \cdot 50} = \frac{\Delta L_2}{50 \cdot 60}$$

$$4000\Delta L_2 = 15000$$

$$\Delta L_2 = 3,75 \text{ mm}$$

2. Sebuah bejana tembaga dengan volum 100 cm<sup>3</sup> diisi penuh dengan air pada suhu 30°C. Kemudian keduanya dipanasi hingga suhunya 100°C. Jika  $\alpha$  tembaga =  $1,8 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C}$  dan  $\gamma$  air =  $4,4 \cdot 10^{-4}/^\circ\text{C}$ , berapa volum air yang tumpah saat itu?

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $V_o \text{ tembaga} = V_o \text{ air} = 100 \text{ cm}^3$

$$\Delta t = 100^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C} = 70^\circ\text{C}$$

$$\alpha \text{ tembaga} = 1,8 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C}$$

$$(\gamma \text{ tembaga} = 5,4 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C})$$

$$\gamma \text{ air} = 4,4 \cdot 10^{-4}/^\circ\text{C}$$

Ditanya:  $V$  air yang tumpah = ...?

Jawab:

Untuk tembaga

$$V_t = V_o (1 + \gamma \cdot \Delta t)$$

$$V_t = 100 (1 + 5,4 \cdot 10^{-5} \cdot 70)$$

$$V_t = 100,378 \text{ cm}^3$$

Untuk air

$$V_t = V_o (1 + \gamma \cdot \Delta t)$$

$$V_t = 100 (1 + 4,4 \cdot 10^{-5} \cdot 70)$$

$$V_t = 103,08 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned}\text{Jadi } V \text{ air yang tumpah} &= V_t \text{ air} - V_t \text{ tembaga} \\ &= 103,08 - 100,378 \\ &= 2,702 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

3. Gas dalam ruang tertutup mempunyai tekanan 1 cmHg. Jika kemudian gas tersebut ditekan pada suhu tetap sehingga volum gas menjadi  $\frac{1}{4}$  volum mula-mula, berapa tekanan gas yang terjadi?

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $P_1 = 1 \text{ atm}$

$$V_2 = \frac{1}{4} V_1$$

Ditanya:  $P_2 = \dots?$

Jawab:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

$$1 \cdot V_1 = P_2 \cdot \frac{1}{4} V_1$$

$$P_2 = 4 \text{ atm}$$

### Uji Pemahaman 4.3

- Jelaskan dengan singkat!
  - Prinsip kerja alat pemberitahuan pada kebakaran yang menggunakan konsep bimetal.
  - Prinsip kerja Termostat yang menggunakan konsep bimetal.
- Pada sambungan rel kereta api perlu diberi celah antarrel. Mengapa?
- Sebatang logam dengan panjang 1 meter dipanaskan dari  $25^\circ\text{C}$  sampai  $50^\circ\text{C}$  sehingga bertambah panjang 2 mm. Berapa pertambahan panjang batang logam tersebut jika panjangnya 80 cm dipanaskan dari  $30^\circ\text{C}$  sampai  $80^\circ\text{C}$ .
- Sebuah kubus aluminium dengan panjang rusuk 2 meter pada suhu  $30^\circ\text{C}$ . Bila koefisien muai panjang aluminium  $2,6 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  dan aluminium tersebut dipanaskan sampai  $50^\circ\text{C}$ , maka hitunglah:
  - pertambahan panjang masing-masing rusuk kubus aluminium.
  - pertambahan luas masing-masing bidang sisinya.
  - pertambahan volum kubus.

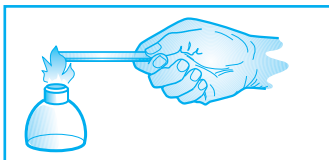
5. Sejumlah gas dalam ruang tertutup pada saat volumenya  $40 \text{ dm}^3$ , tekanannya  $2 \text{ atm}$ . Jika gas ditekan secara perlahan-lahan sehingga volumenya menjadi  $25 \text{ dm}^3$  tanpa mengalami perubahan suhu, maka berapakah tekanan gas yang terjadi?
6. Ke dalam sebuah gelas yang bervolum  $50 \text{ cm}^3$  dimasukkan air sebanyak  $49 \text{ cm}^3$  pada suhu  $25^\circ\text{C}$ , kemudian bersama-sama air dipanaskan. Pada suhu berapakah air akan mulai tumpah jika  $\alpha_{\text{gelas}} = 4 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$  dan  $\gamma_{\text{air}} = 5 \cdot 10^{-4}/^\circ\text{C}$ .
7. Sebuah pita yang terbuat dari kuningan panjangnya  $2 \text{ meter}$  ditera pada suhu  $20^\circ\text{C}$ . Pita digunakan untuk mengukur panjang suatu benda pada suhu  $30^\circ\text{C}$  dan menunjukkan hasil ukur  $1,025 \text{ m}$ . Berapakah sesungguhnya panjang benda yang diukur itu?

## D. PERPINDAHAN KALOR

Pada penjelasan sebelumnya telah dibahas bahwa kalor merupakan suatu bentuk energi yang dapat berpindah karena ada perbedaan suhu. Perpindahan kalor dapat terjadi dengan 3 cara, yaitu secara konduksi, konveksi, dan radiasi. Untuk lebih jelasnya perhatikan uraian berikut.

### 1. Konduksi

Perpindahan kalor secara konduksi (hantaran) adalah perpindahan kalor melalui zat perantara dimana partikel-partikel zat perantara tersebut tidak berpindah. Perhatikan gambar 4.11 berikut.



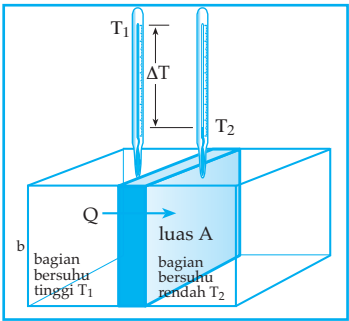
Gambar 4.11  
Perpindahan kalor secara konduksi

Dari gambar 4.11 tersebut jika ujung batang logam dipanaskan dengan api, ternyata ujung logam yang kita pegang akhirnya menjadi panas. Hal tersebut membuktikan adanya perpindahan kalor dari ujung batang logam yang dipanaskan ke ujung batang yang kita pegang.

Ada zat yang daya hantar panasnya baik, ada pula zat yang daya hantar panasnya buruk. Berdasarkan daya hantar panasnya maka zat dikelompokkan menjadi dua yaitu konduktor dan isolator.

- a. Konduktor (zat yang dapat menghantarkan panas dengan baik) antara lain: tembaga, aluminium, besi, dan baja.
- b. Isolator (zat yang kurang baik menghantarkan panas), antara lain: kaca, karet, kayu, dan plastik.

Kemampuan menghantarkan kalor logam dapat dijelaskan dengan mengang- gap adanya elektron-elektron bebas pada logam. Elektron bebas ialah elektron yang dengan mudah dapat pindah dari satu atom ke atom lain. Di tempat yang dipanaskan energi elektron-elektron bertambah besar. Karena elektron bebas mudah pindah, pertambahan energi ini dengan cepat dapat dibawa ke tempat lain di dalam zat dan dapat diberikan ke elektron lain yang letaknya lebih jauh melalui tumbukan. Dengan cara ini energi berpindah lebih cepat.



Gambar 4.12  
Menentukan kecepatan alir kalor

Dari percobaan dan penalaran ditemukan bahwa kecepatan mengalirnya kalor dengan cara konduksi dari satu tempat ke tempat lain dalam satu potong zat bergantung pada lima faktor, yaitu selisih suhu  $T$ , luas penampang  $A$ , tebal zat  $L$ , lamanya kalor mengalir  $t$ , dan jenis zat (lihat Gambar 4.12). Dari percobaan ditemukan bahwa kalor yang mengalir:

- sebanding dengan selisih suhu ( $\Delta T$ ) antara kedua ujung potongan zat yang ditinjau

- sebanding dengan luas penampang potongan ( $A$ )
- berbanding terbalik dengan tebal atau panjang potongan ( $L$ )
- sebanding dengan selang waktu lamanya kalor mengalir.

Atas dasar itu, secara matematik banyaknya kalor  $H$  yang mengalir dari ujung bersuhu  $T_1$  ke ujung bersuhu  $T_2$  dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$H = K \cdot A \frac{\Delta T}{L}$$

$H$  = perambatan kalor tiap satuan waktu (Kal/det)

$K$  = koefisien konduksi termal (Kal/m°C)

$\Delta T$  = perbedaan suhu (°C)

$A$  = luas penampang (m<sup>2</sup>)

$L$  = panjang (m)

Tabel 4.5 Konduktivitas termal beberapa zat

Zat/bahan	$k(\frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{K}})$
<b>Logam</b>	
Perak	$4,2 \times 10^{-1}$
Tembaga	$3,8 \times 10^{-1}$
Aluminium	$2,1 \times 10^{-1}$
Kuningan	$1,0 \times 10^{-2}$
Besi/Baja	$4,6 \times 10^{-3}$

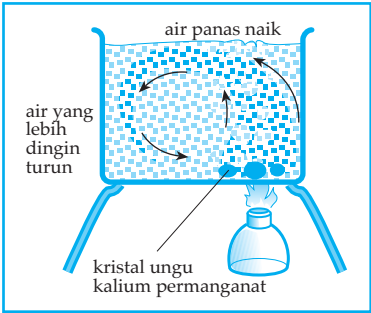
Zat/bahan	$k(\frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{K}})$
<b>Zat padat lain</b>	
Beton	$1,7 \times 10^{-3}$
Kaca	$8,0 \times 10^{-4}$
Batu bata	$7,1 \times 10^{-4}$
Kayu cemara	$1,2 \times 10^{-4}$
<b>Zat cair</b>	
A i r	$5,7 \times 10^{-4}$
Bahan Isolator	
Serbuk gergajian	$5,9 \times 10^{-5}$
Gabus	$4 \times 10^{-5}$
Wol gelas	$3,9 \times 10^{-5}$
Kapuk	$3,5 \times 10^{-5}$
<b>G a s</b>	
Hidrogen	$1,7 \times 10^{-4}$
Udara	$2,3 \times 10^{-5}$

2. Konveksi

Perpindahan kalor secara konveksi (aliran) adalah perpindahan kalor karena aliran zat yang dipanaskan. Konveksi hanya terjadi pada zat yang dapat mengalir, yaitu zat cair dan zat gas.

a. Konveksi dalam zat cair

Bila air dipanaskan, air akan memuai sehingga massa jenisnya berkurang. Karena massa jenisnya berkurang maka air ini menjadi lebih ringan dan naik ke atas. Tempatnya kemudian digantikan oleh air yang lebih dingin dari atas, yang turun karena massa jenisnya lebih besar. Gerakan atau sirkulasi air tersebut dinamakan arus konveksi.



Gambar 4.13 Konveksi kalor di dalam air

Penerapan konveksi kalor dalam air pada kehidupan sehari-hari.

1) *Pemanasan air dalam ketel*

Pada saat kita memanaskan air dalam ketel, maka terjadi pemindahan kalor secara konduksi dan konveksi.



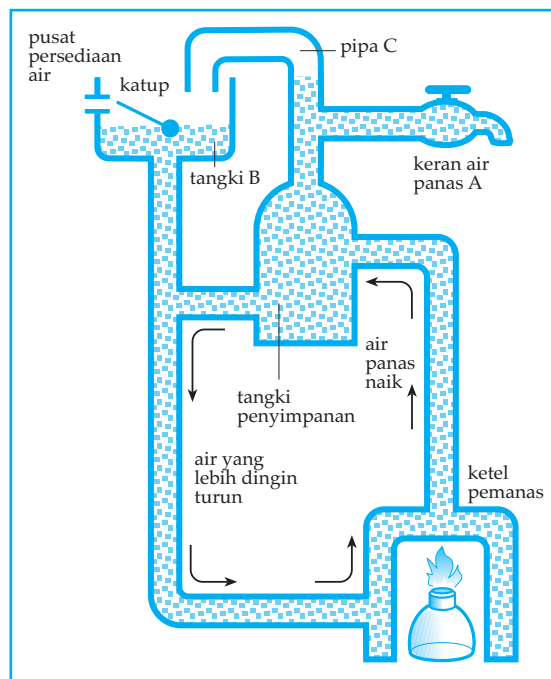
Gambar 4.14 Pemanasan air dalam ketel terjadi secara konduksi dan konveksi

2) *Sistem aliran panas*

Di hotel-hotel besar, tiap-tiap kamar mandi biasanya disediakan kran air dingin dan kran air hangat. Air panas dialirkan dari tempat pemanasan dan penyimpanan air panas ke seluruh bangunan secara konveksi.

Keterangan gambar 4.15:

Pada saat air dalam ketel dipanasi, maka air panas dalam ketel naik mengisi tangki penyimpanan dan air dingin dalam tangki penyimpanan turun ke ketel pemanasan sehingga keseluruhan air dalam sistem menjadi panas. Jika kran A dibuka, air panas di bagian atas tangki penyimpanan keluar dan air dingin dari pusat persediaan air masuk ke tangki B melalui pipa dengan katup yang diatur oleh gerakan naik turunnya bola pelampung, sehingga jumlah air dalam sistem tetap. Demikian seterusnya sehingga air panas terus tersedia. Pipa C berfungsi untuk mengalirkan uap panas atau limbah air yang terjadi karena pemanasan.



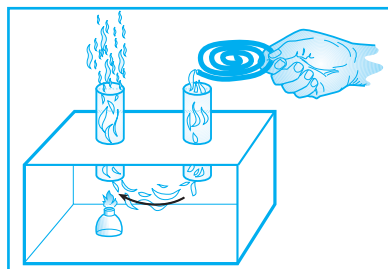
Gambar 4.15 Bagan sistem aliran air panas



## b. Konveksi dalam udara

Arus konveksi pada udara atau gas terjadi ketika udara panas naik dan udara yang lebih dingin turun. Konveksi udara dapat dilihat pada gambar di bawah. Jika lilin dinyalakan akan terjadi aliran udara panas dalam alat. Dengan menggunakan asap dari obat nyamuk yang dibakar, aliran udara terlihat. Udara panas akan naik dan udara dingin akan turun.

Penerapan konsep konveksi kalor dalam udara pada kehidupan sehari-hari dapat dilihat pada terjadinya angin laut, angin darat dan pembuatan cerobong asap pada tangki pabrik.



Gb. 4.16 Peristiwa konveksi

### 1) Angin laut (terjadi siang hari)

Pada siang hari daratan lebih cepat panas dari pada lautan. Akibatnya udara di atas daratan naik, dan kekosongan tersebut akan digantikan oleh udara yang lebih dingin dari atas laut yang bertiup ke darat. Maka terjadilah angin laut.



Gambar 4.17 Angin laut

### 2) Angin darat (terjadi malam hari)

Pada malam hari daratan lebih cepat dingin dari pada lautan, karena daratan lebih cepat melepaskan kalor. Akibatnya udara panas di lautan naik dan kekosongan tersebut digantikan oleh udara yang lebih dingin dari atas daratan yang bertiup ke laut. Maka terjadilah angin darat.



Gambar 4.18 Angin darat

3) Pembuatan cerobong asap pada tungku pabrik

Pada tungku pabrik biasanya dipasang cerobong asap agar selalu ada tarikan oleh udara ke atas. Sebelum ada pemanasan di dalam tungku, massa jenis udara dalam cerobong sama dengan massa jenis udara di luar cerobong. Setelah ada pemanasan, udara di dalam tungku memuai sehingga udara dari luar cerobong yang lebih dingin dan massa jenisnya lebih besar akan mende-sak udara panas dalam cerobong ke atas. Semakin tinggi cerobong semakin besar tarikannya, sebab perbedaan massa jenis gas dalam cerobong dan massa jenis udara dari luar makin besar.



Gambar 4.19  
Cerobong asap

Banyaknya kalor yang merambat tiap satuan waktu secara konveksi dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$H = h \cdot A \cdot \Delta T$$

H = perambatan kalor tiap satuan waktu (Kal/det)

h = koefisien konveksi (Kal/m det°C)

A = luas penampang (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  = perbedaan suhu (°C)

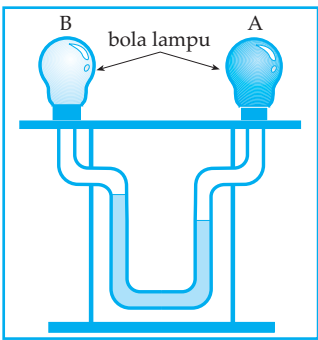
Catatan: Persoalan perpindahan kalor secara konveksi sangat sulit.

3. Radiasi

Antara bumi dengan matahari terdapat ruang hampa yang tidak memungkinkan terjadinya konduksi dan konveksi. Akan tetapi panas matahari dapat kita rasakan. Dalam hal ini kalor tidak mungkin berpindah dengan cara konduksi ataupun konveksi. Perpindahan kalor dari matahari ke bumi terjadi lewat radiasi (pancaran). Jadi radiasi adalah perpindahan kalor tanpa zat perantara.

Alat yang digunakan untuk mengetahui adanya radiasi (pancaran) kalor dinamakan termoskop.

Dua buah bola lampu dihubungkan dengan pipa U berisi alkohol yang diberi



Gambar 4.20 Radiasi

warna. Bola lampu A dihitamkan, sedangkan bola lampu B tidak. Bila pancaran kalor jatuh pada bola A, tekanan gas di dalam bola A, bertambah besar dan permukaan alkohol di bawah B akan naik. Bila A dan B bersama-sama diberi pancaran kalor, permukaan alkohol di bawah A tetap turun dan permukaan alkohol di bawah B naik. Hal ini menunjukkan bahwa bola hitam menyerap kalor lebih banyak daripada bola lampu yang tidak dihitamkan.

Benda yang permukaannya hitam kusam memancarkan atau menyerap kalor lebih baik dari pada benda yang permukaannya putih mengkilap.

Banyaknya kalor yang dipancarkan tiap satuan luas, tiap satuan waktu dapat dinyatakan dengan :

$$W = e \cdot \tau \cdot T^4$$

$W$  = energi kalor tiap satuan luas tiap satuan waktu (Watt/ $m^2$  K)

$e$  = emisivitas, besarnya tergantung sifat permukaan benda.

$\tau$  = konstanta stefan - Boltzman =  $5,672 \cdot 10^{-8}$  watt  $m^{-2}$  K $^{-4}$

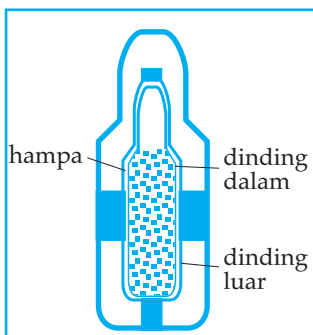
$T$  = suhu mutlak (K)

Catatan: Untuk benda hitam  $e = 1$   
untuk benda bukan hitam  $0 < e < 1$

## E. MENCEGAH PERPINDAHAN KALOR

Energi kalor dapat dicegah untuk berpindah dengan mengisolasi ruang tersebut.

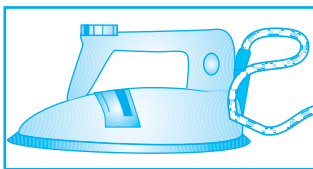
### 1. Botol termos



Gambar 4.21  
Penampang termos

- Untuk mencegah agar zat cair yang ada di dalamnya tetap panas dalam waktu yang lama, maka botol termos dibuat dari gelas tipis rangkap dua, yang ruang di antaranya dibuat hampa udara agar hilangnya kalor secara konduksi sangat kecil.
- Sumbat gabus dimaksudkan untuk mengurangi hilangnya kalor secara konveksi melalui udara ke luar.
- Dinding luar termos dilapisi perak mengkilap, untuk mengurangi hilangnya kalor secara radiasi.

### 2. Seterika



Gambar 4.22 Seterika

- Seterika terbuat dari bahan konduktor, misalnya kuningan atau besi, sehingga mengkonduksi kalor kepada pakaian yang diseterika.
- Pegangan seterika terbuat dari kayu agar tidak panas, karena kayu termasuk isolator, yaitu penghantar kalor yang kurang baik.

#### Contoh Soal 4.4

1. Sebatang besi berbentuk silinder dengan luas penampang  $10 \text{ cm}^2$  dan panjang  $50 \text{ cm}$ . Pada ujung-ujung besi tersebut mempunyai beda suhu  $2^\circ\text{C}$ . Jika koefisien konduksi besi  $4,6 \cdot 10^{-3} \text{ KJ/m.s}^\circ\text{C}$ , berapakah besar rambatan kalor tiap detik pada besi tersebut?

*Penyelesaian:*

$$\text{Diketahui: } A = 10 \text{ cm}^2 = 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$L = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$

$$\Delta T = 2^\circ\text{C}$$

$$K = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ KJ / m.s } ^\circ\text{C}$$

Ditanya:  $H = \dots?$

Jawab :

$$H = k \cdot A \frac{\Delta T}{L}$$

$$H = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ KJ/m.s } ^\circ\text{C} \cdot 10^{-3} \frac{2}{0,5}$$

$$= 9,2 \cdot 10^{-6} \text{ KJ/s}$$

2. Sebuah benda hitam pada saat dipanaskan sampai suhu  $27^\circ\text{C}$  memancarkan energi  $10 \text{ joule}$ . Berapakah energi yang dipancarkan oleh benda hitam tersebut jika dipanaskan sampai  $127^\circ\text{C}$ ?

*Penyelesaian:*

$$\text{Diketahui: } T_1 = (27 + 273)\text{K} = 300 \text{ K}$$

$$W_1 = 10 \text{ joule}$$

$$T_2 = (127 + 273) \text{ K} = 400 \text{ K}$$

Ditanya:  $W_2 = \dots?$

Jawab:

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{T_1^4}{T_2^4}$$

$$\frac{10}{W_2} = \frac{300^4}{400^4}$$

$$W_2 = \frac{2560}{81} = 31,6 \text{ joule}$$

#### Uji Pemahaman 4.4

##### Kerjakan soal berikut!

1. Berikan penjelasan dengan singkat dan jelas mengenai perambatan kalor secara konduksi, konveksi dan radiasi.
2. Jika kita memasak air di dalam panci, tidak perlu semua bagian panci dipanasi. Jelaskan!
3. Pelat dengan tebal 2 cm dan luas penampang  $0,5 \text{ m}^2$ , menyekat dua ruangan dengan suhu masing-masing pelat  $50^\circ\text{C}$  dan  $150^\circ\text{C}$ . Berapa rambatan kalor pada pelat dalam waktu 1 menit jika koefisien konduksi pelat  $= 1,6 \times 10^{-3} \text{ KJ/m} \cdot \text{s} \cdot \text{K}$ ?
4. Sebuah bola besi berwarna hitam berdiameter 10 cm dipanasi sampai  $27^\circ\text{C}$ . Berapakah energi kalor yang terpancar dari permukaan bola besi tersebut selama 1 detik?
5. Sebuah kawat wolfram lampu pijar 100 watt menyala selama 14.592 sekon. Jika emisivitas kawat  $= 1$  dan konstanta Boltzman dianggap  $= 5,7 \times 10^{-8} \text{ watt/m}^2 \cdot \text{K}^4$ . Berapakah suhu dari kawat wolfram saat itu?

## Rangkuman

- Suhu adalah derajat panas dinginnya suatu benda. Satuan suhu dalam SI adalah Kelvin.
- Alat ukur suhu adalah termometer
- Perbandingan skala pada termometer Celcius, Reamur, Fahrenheit dan Kelvin:

$$C : R : (F - 32) : (K - 273) = 5 : 4 : 9 : 5$$

- Hubungan antara termometer celcius dan kelvin

$$t^\circ\text{C} = (t + 273)\text{K} \quad \text{atau} \quad t\text{K} = (t - 273)^\circ\text{C}$$

- Kalor adalah suatu bentuk energi yang dapat berpindah karena adanya perbedaan suhu.
- Satuan kalor dalam SI adalah Joule.
- Kalor jenis adalah banyaknya kalor yang diperlukan atau dilepaskan untuk menaikkan atau menurunkan suhu satu satuan massa zat itu sebesar satu satuan suhu

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta t}$$

- Kapasitas kalor adalah banyaknya kalor yang diperlukan atau dilepaskan untuk mengubah suhu benda sebesar satu satuan suhu

$$C = \frac{Q}{\Delta t}$$

- Pemuaian pada zat padat

$$L_t = L_o(1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

$$A_t = A_o(1 + \beta \cdot \Delta T)$$

$$V_t = V_o(1 + \gamma \cdot \Delta T)$$

$$\beta = 2\alpha$$

$$\gamma = 3\alpha$$

- Pemuaian pada zat cair

$$V_t = V_o(1 + \gamma \cdot \Delta T)$$

- Pemuaian pada gas

a. Proses isotermis:  $P \cdot V = \text{konstan}$

b. Proses isobarik:  $\frac{V}{T} = \text{konstan}$

c. Proses isokhorik:  $\frac{P}{T} = \text{konstan}$

d. Hukum Boyle - Gay Lussac :  $\frac{P \cdot V}{T} = \text{konstan}$

- Perpindahan kalor dapat secara konduksi, konveksi, atau radiasi.

a. pada konduksi:  $H = K \cdot A \frac{\Delta T}{L}$

b. pada konveksi:  $H = h \cdot A \cdot \Delta T$

c. pada radiasi:  $W = e \cdot \tau \cdot T^4$

## KATA KUNCI

- sifat termometrik
- termometer
- kalori
- kalor jenis
- kapasitas kalor
- kalorimeter
- kalor uap
- kalor lebur
- kalor embun
- kalor beku
- muai panjang
- muai luas
- muai volum
- isobarik
- isokhorik
- isotermis
- konduksi
- koneksi
- radiasi



## JI KOMPETENSI

### A. Pilih satu jawaban yang paling benar!

- Untuk menentukan derajat panas dinginnya sebuah benda. Kita dapat menggunakan:  
(1) alat indra perasa  
(2) alat Termometer  
(3) alat Kalorimeter  
a. (1) dan (2)  
b. (1) dan(3)  
c. (2) dan (3)  
d. (2) saja  
e. (1), (2)dan(3)
- Kalor jenis sebuah benda ....  
a. sebanding dengan massanya  
b. sebanding dengan perubahan suhu  
c. tergantung dari jenis benda  
d. tergantung dari banyaknya kalor yang diserap  
e. semua salah
- Suhu 303 K sama dengan ....  
a. 24°R                      d. 27°F  
b. 27°R                      e. 28°C  
c. 54°F
- Dua termometer x dan y masing-masing mempunyai skala bawah 0° skala atas termometer Y =  $\frac{2}{3}$  kali skala atas termometer x. Jika suhu benda terukur termometer sebesar t maka suhu benda tersebut terukur oleh termometer y sebesar ....  
a.  $\frac{1}{3} t$   
b.  $\frac{1}{2} t$   
c.  $\frac{2}{3} t$   
d.  $\frac{3}{2} t$   
e. t

5. Pada saat es melebur, suhu es tetap walaupun kalor terus diberikan. Hal tersebut berarti ....
- kalor terbangun selama es melebur
  - pada saat es melebur tidak memerlukan kalor
  - kalor yang diterima es hanya tersimpang
  - kalor yang diterima es sama dengan suhu es
  - kalor yang diterima es digunakan untuk mengubah wujud es.
6. Suatu jenis gas menempati volum  $100 \text{ m}^3$  pada temperatur  $0^\circ\text{C}$  dan tekanan  $1 \text{ atm}$ . Bila temperatur menjadi  $50^\circ\text{C}$  sedangkan tekanan menjadi  $2 \text{ atm}$  maka volum gas akan menjadi ....
- $118,3 \text{ cm}^3$
  - $84,5 \text{ cm}^3$
  - $59,2 \text{ cm}^3$
  - $45,5 \text{ cm}^3$
  - $38,4 \text{ cm}^3$
7. Udara dalam tabung dengan suhu awal  $20^\circ\text{C}$  dipanaskan pada volum tetap sampai tekanannya menjadi dua kali semula. Ini berarti suhunya menjadi ....
- $40^\circ\text{C}$
  - $40 \text{ K}$
  - $293 \text{ K}$
  - $313 \text{ K}$
  - $313^\circ\text{C}$
8. Dalam bejana yang berisi  $0,25 \text{ dm}^3$  air dengan suhu  $50\frac{1}{2}^\circ\text{C}$  dimasukkan  $0,1 \text{ kg}$  es dengan suhu  $0^\circ\text{C}$ . Jika  $\rho_a = 1 \text{ gr/cm}^3$ ;  $C_{\text{es}} = 0,5 \text{ kal/gr}^\circ\text{C}$ ;  $L_{\text{es}} = 80 \text{ kal/gr}$  dan  $C_a = 1 \text{ kal/gr}^\circ\text{C}$  maka suhu akhir campurannya ....
- $14,5^\circ\text{C}$
  - $18,2^\circ\text{C}$
  - $20^\circ\text{C}$
  - $25^\circ\text{C}$
  - $28,5^\circ\text{C}$
9.  $90^\circ\text{C}$ 

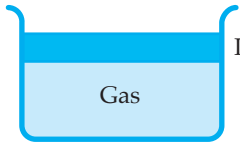
P	Q
---	---

 $0^\circ\text{C}$
- Dua batang P dan Q dengan ukuran yang sama tetapi jenis logam yang berbeda diletakkan seperti gambar di bawah. Ujung kiri P bersuhu  $90^\circ\text{C}$  dan ujung kanan Q bersuhu  $0^\circ\text{C}$ . Jika koefisien konduksi termal P adalah 2 kali koefisien konduksi termal Q maka suhu pada bidang batas P dan Q adalah ....
- $45^\circ\text{C}$
  - $55^\circ\text{C}$
  - $60^\circ\text{C}$
  - $72^\circ\text{C}$
  - $75^\circ\text{C}$
10. Sebuah lampu pijar mempunyai daya pemakaian  $15 \text{ watt}$  pada suhu  $2000 \text{ K}$ . Agar suhu kawat pijar mencapai  $3000 \text{ K}$  maka besarnya tenaga yang harus diberikan ....
- $50 \text{ watt}$
  - $60 \text{ watt}$
  - $70 \text{ watt}$
  - $76 \text{ watt}$
  - $86 \text{ watt}$



## B. Kerjakan soal di bawah ini!

1. Panjang sepotong rel baja kereta api 10 meter. Di tempat rel dipasang, suhu dapat berubah sampai  $10^{\circ}\text{C}$ . Berapakah sekurang-kurangnya jarak celah di antara ujung-ujung rel kereta api agar rel masih dapat memuai dengan bebas? Koefisien muai panjang baja =  $0,000011\text{ K}^{-1}$
2. Sebuah “ban” besi hendak dipasang pada roda pedati yang terbuat dari kayu. Jari-jari dalam ban besi 0,992 m. Jari-jari luar roda kayu 1 meter. Sampai suhu berapakah ban besi itu harus dipanaskan agar roda kayu dapat dimasukkan ke dalamnya?  $\alpha_{\text{besi}} = 1,1 \times 10^{-5}\text{ K}^{-1}$

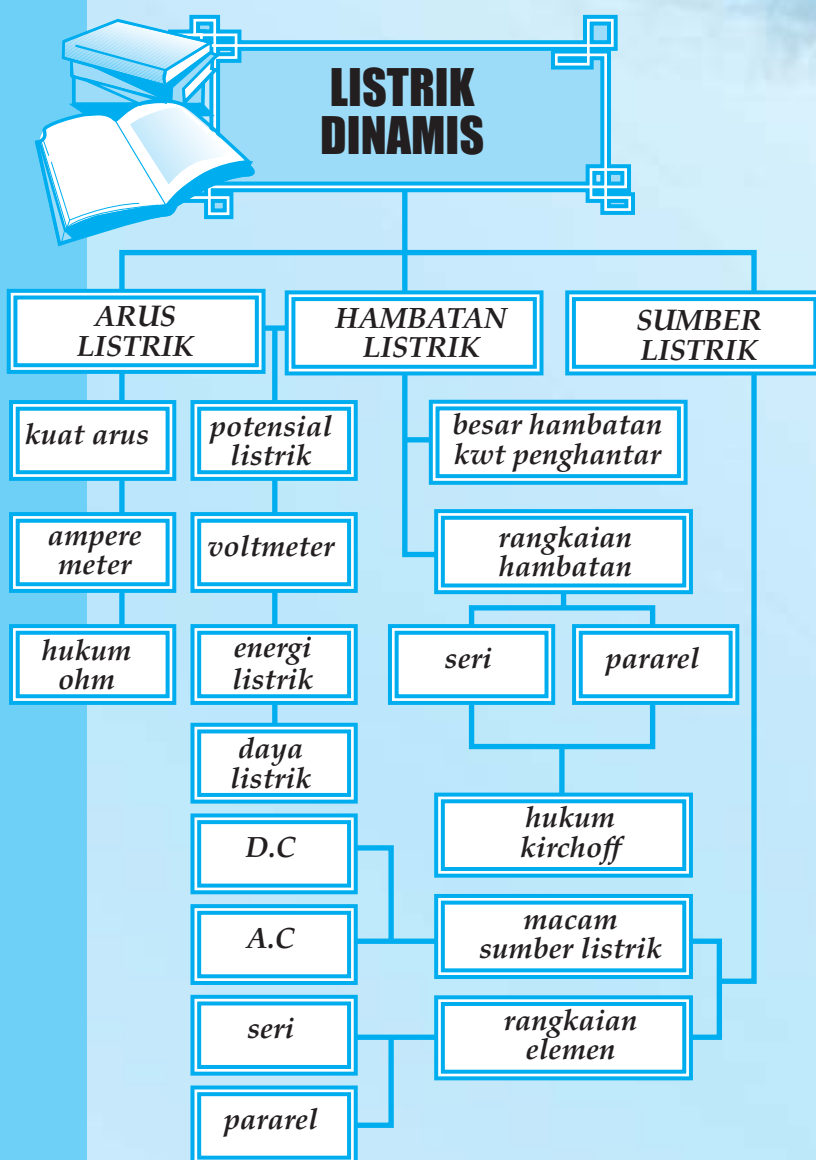
3. Gambar berikut sejumlah gas dalam silinder dengan volum  $40\text{ cm}^3$ .  
 Luas penampang silinder  $20\text{ cm}^2$ . Pada silinder P tersebut ditutup dengan pengisap P yang bebas bergerak. Suhu mula-mula gas  $20^{\circ}\text{C}$ . Jika kemudian gas dipanaskan sampai dengan  $40^{\circ}\text{C}$  maka berapakah naiknya pengisap tersebut saat itu?

4. Sebatang silinder tembaga dengan panjang 10 cm dan diameter penampang 25 mm, kedua ujung permukaannya mempunyai suhu masing-masing  $100^{\circ}\text{C}$  dan  $20^{\circ}\text{C}$ . Jika koefisien konduksi termal tembaga =  $9,2 \times 10^{-2}\text{ kkal/ m} \cdot \text{det. }^{\circ}\text{C}$ , berapakah kalori kalor yang dihantarkan melalui silinder tersebut selama 10 menit?
5. Pada suhu  $37^{\circ}\text{C}$  sebuah benda yang dipanasi dapat memancarkan energi kalor tiap detik tiap satuan luas sebesar W joule. Pada suhu pemanasan berapakah agar energi kalor yang dipancarkan oleh benda tersebut tiap satuan waktu satuan luas sebesar 16 W joule?

# 5

## LISTRIK DINAMIS

Setelah mempelajari materi "Listrik Dinamis" diharapkan Anda dapat menggunakan amperemeter dan voltmeter, mampu memformulasikan besaran kuat arus dalam rangkaian tertutup sederhana, besaran hambatan dalam rangkaian seri, serta besaran tegangan dalam rangkaian tertutup sederhana menggunakan hukum Kirchoff I dan II. Selanjutnya diharapkan dapat mengidentifikasi penerapan arus listrik searah dan bolak-balik dalam kehidupan sehari-hari.



Masalah listrik dan manfaatnya saat ini bukanlah hal yang asing bagi manusia, sebab saat ini tidak hanya orang-orang kota saja yang dapat merasakan manfaat listrik, tetapi orang-orang yang berada di pelosok desa juga dapat merasakan manfaat listrik. Walaupun demikian sebenarnya tidak ada yang tahu siapa yang memulai menemukan listrik walaupun listrik sudah dikenal oleh bangsa Yunani kuno dan pengkajian listrik secara intensif sudah dimulai sejak abad ke-16.

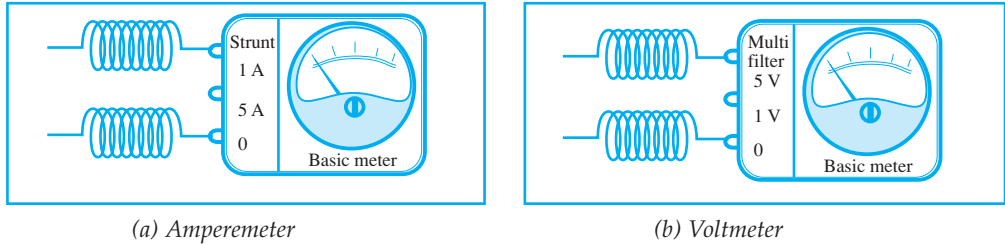
Listrik mengalir dihasilkan oleh sumber listrik dan tidak jarang listrik yang kita gunakan sumber listriknya berada pada tempat yang jauh dari kita. Dengan demikian dalam mentransmisi energi listrik jarak jauh perlu dilakukan dengan tegangan yang sangat tinggi. Untuk itu diperlukan alat yang dapat menaikkan sekaligus menurunkan tegangan listrik yang disebut dengan transformator.

**A. ARUS LISTRIK DAN PENGUKURANNYA**

Arus listrik adalah aliran muatan-muatan listrik yang melalui suatu penghantar. Dalam suatu rangkaian listrik, dapat terjadi arus listrik jika terdapat beda potensial listrik (beda tegangan listrik).

Semakin banyak muatan listrik yang mengalir tiap satuan waktu dikatakan semakin besar (kuat) arus listriknya. Arah arus listrik dalam suatu rangkaian listrik yaitu dari potensial tinggi ke potensial rendah.

Kuat arus listrik dapat diukur dengan alat amperemeter, yang dapat dirakit dari alat basic meter yang dipasang dengan Shunt. Beda potensial listrik dapat diukur dengan alat voltmeter, yang dapat dirakit dari alat basic meter yang dipasang dengan Multiflier.

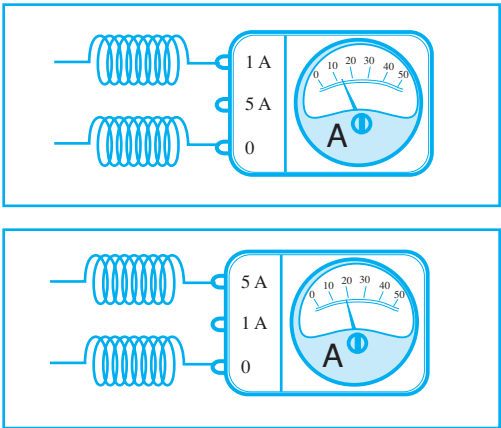


Gambar 5.1 Alat ukur listrik

**1. Cara membaca skala hasil ukur amperemeter dan voltmeter**

Sebelum Anda mempraktikkan penggunaan amperemeter dan voltmeter, perhatikan contoh membaca hasil ukur dengan amperemeter dan voltmeter berikut.

a. Alat ukur amperemeter



Gambar 5.2 Amperemeter

Keterangan:

Batas ukur maks = 1A

Hasil ukur =  $\frac{12}{50} \times 1A$

= 0,24 A

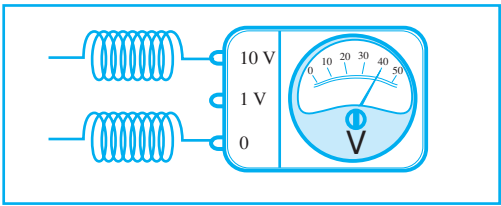
Keterangan:

Batas ukur maks = 5A

Hasil ukur =  $\frac{19}{50} \times 5A$

= 1,9 A

b. Alat ukur voltmeter



Gambar 5.3 Voltmeter

Keterangan:

Batas ukur maks = 10V

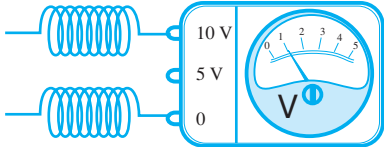
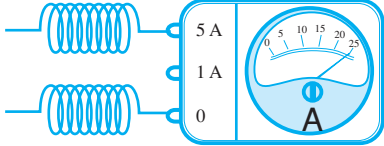
Hasil ukur =  $\frac{40}{50} \times 10V$

= 8 V

Kegiatan 5.1

Tentukan batas ukur maksimum dan hasil ukur dari alat-alat ukur yang menunjukkan suatu nilai ukur tertentu berikut!

No.	Alat ukur	Batas ukur maks dan hasil ukur
1.		
2.		

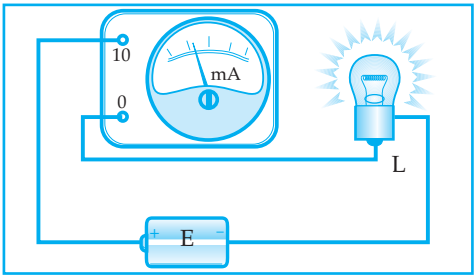
No.	Alat ukur	Batas ukur maks dan hasil ukur
3.		
4.		

## 2. Dalam Rangkaian alat listrik

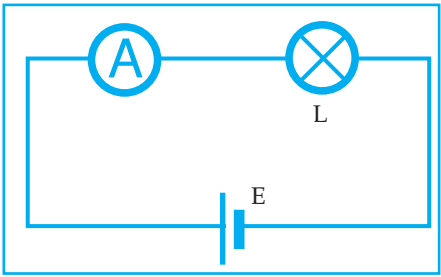
Dalam serangkaian alat diperlukan cara tertentu. Untuk amperemeter harus dipasang secara seri dengan alat listrik, sedangkan voltmeter harus dipasang secara paralel dengan alat listrik. Perhatikan dibawah ini.

### a. Rangkaian amperemeter

Rangkaian sebenarnya



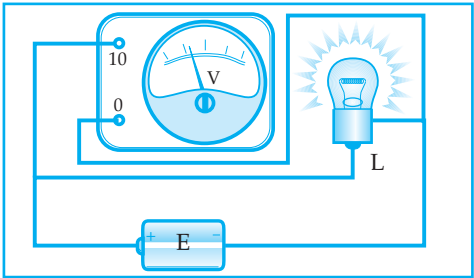
Bagan rangkaian



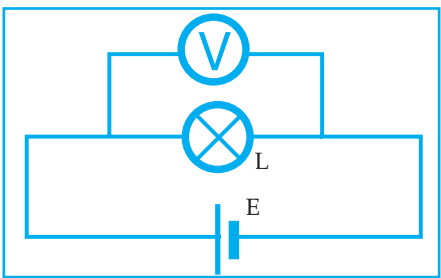
Gambar 5.4 Rangkaian amperemeter

### b. Rangkaian voltmeter

Rangkaian sebenarnya



Bagan rangkaian

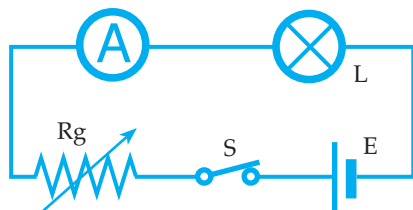


Gambar 5.5 Rangkaian voltmeter

Agar Anda lebih terampil menggunakan amperemeter dan voltmeter, maka lakukan percobaan di bawah ini.



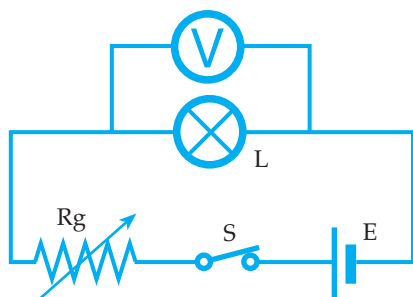
### Percobaan 5.1: Mengukur kuat arus listrik



Rangkailah alat-alat seperti di atas. Tutup saklar *S* dan catat besar kuat arus yang mengalir. Ulangi kegiatan ini sampai 2 kali dengan mengubah-ubah posisi tombol hambatan geser dan masukkan hasilnya pada tabel.



### Percobaan 5.2: Mengukur beda potensial listrik



Rangkailah alat-alat seperti di atas. Tutup saklar *S* dan catat beda potensial listrik. Ulangi kegiatan ini sampai 2 kali dengan mengubah-ubah posisi tombol hambatan geser dan masukkan hasilnya pada tabel.

#### \* Kuat arus listrik (*I*)

Kuat arus adalah banyaknya muatan listrik yang mengalir melalui suatu penghantar tiap detik.

$$I = \frac{Q}{t}$$

*I* = kuat arus listrik (ampere)

*Q* = muatan listrik (coulomb)

*t* = waktu (sekon)

Besarnya kuat arus yang mengalir melalui rangkaian listrik dapat diukur dengan alat amperemeter.

### Contoh soal 5.1

1. Dalam waktu 5 detik muatan listrik sebanyak 20 coulomb dapat mengalir melalui kawat penghantar.

Berapakah kuat arus listrik tersebut?

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $t = 5$  detik

$$Q = 20^\circ \text{ C}$$

Ditanya:  $I = \dots?$

Jawab :

$$I = \frac{Q}{t} \\ = \frac{20}{5}$$

$$I = 4 \text{ ampere}$$

2. Arus listrik 8 mA mengalir melalui sebuah kawat penghantar. Berapakah banyaknya elektron yang mengalir melalui penghantar tersebut selama 10 sekon jika muatan elektron  $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $i = 8 \text{ mA} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ A}$

$t = 10$  sekon

$$q_e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Ditanya:  $N = \dots?$

Jawab:

$$Q = i \cdot t$$

$$Q = 8 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 8 \cdot 10^{-2} \text{ C}$$

$$N = \frac{Q}{q_e}$$

$$N = \frac{8 \cdot 10^{-2}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 5 \cdot 10^{17} \text{ elektron}$$

## B. HUKUM OHM PADA PENGHAMBAT TETAP

Di awal bab ini telah dijelaskan bahwa penyebab adanya arus listrik karena adanya beda potensial listrik. George Simon Ohm, orang yang pertama kali menemukan hubungan kuat arus listrik yang mengalir melalui penghantar yang berhambatan tetap dengan beda potensial ujung-ujung penghantar tersebut.

Menurut George Simon Ohm menyatakan “Besarnya beda potensial listrik ujung-ujung penghantar yang berhambatan tetap sebanding dengan kuat arus listrik yang mengalir melalui penghantar tersebut selama suhu penghantar tersebut dijaga tetap”.

$$V \sim i \quad \text{atau} \quad \frac{V}{I} = \text{Konstan}$$

Dari penyelidikan lebih lanjut dengan menggunakan penghantar yang berhambatan  $R$ , ternyata diperoleh:

$$\frac{V}{I} = R \quad \text{atau} \quad V = I \cdot R$$

$V$  = beda potensial (volt)

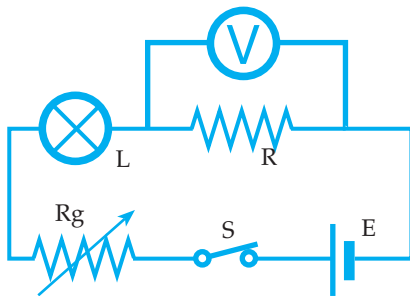
$i$  = kuat arus (ampere)

$R$  = hambatan kawat penghantar (Ohm)

Untuk lebih jelasnya mengenai kebenaran hukum ohm, lakukan percobaan dibawah ini.



### Percobaan 5.3: Hukum Ohm



Rangkailah alat-alat seperti di atas. Tutup saklar  $S$  dan catat besar kuat arus yang mengalir dan beda potensial listrik. Ulangi kegiatan ini sampai 2 kali dengan mengubah-ubah posisi tombol hambatan geser dan masukkan hasilnya pada tabel. Adapun susunan kolom pada tabel yang dibuat adalah beda potensial ( $v$ ) volt, kuat arus listrik ( $I$ ) ampere, dan  $\frac{V}{I}$

Bagaimana hubungan antara  $V$  dan  $I$ ? Berapa nilai rata-rata dari  $\frac{V}{I}$ ? Bagaimana nilai  $\frac{V}{I}$  rata-rata dan nilai  $R$ ? Apakah kesimpulan yang Anda dapatkan!



### Contoh soal 5.2

1. Jika ujung-ujung sebuah penghantar yang berhambatan 5 Ohm diberi beda potensial 1,5 volt, maka berapakah kuat arus listrik yang mengalir?

*Penyelesaian:*

Diket:  $R = 5 \text{ ohm}$

$V = 1,5 \text{ volt}$

Ditanya:  $i = \dots?$

Jawab:

$$i = \frac{V}{R}$$

$$i = \frac{1,5}{5} = 0,3 \text{ A}$$

2. Pada saat ujung-ujung sebuah penghantar yang berhambatan 50 ohm diberi beda potensial, ternyata kuat arus listrik yang mengalir 50 mA. Berapakah beda potensial ujung-ujung penghantar tersebut?

*Penyelesaian:*

Diket:  $R = 50 \text{ ohm}$

$i = 50 \text{ mA} = 0,05 \text{ A}$

Ditanya:  $V = \dots?$

Jawab:

$$V = i \times R$$

$$V = 0,05 \times 50$$

$$V = 2,5 \text{ volt}$$

### Uji Pemahaman 5.1

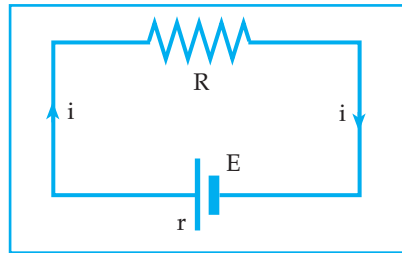
**Kerjakan soal berikut!**

1. Dalam waktu 4 sekon dapat mengalir elektron sebanyak  $10^{20}$  melalui suatu penghantar yang berhambatan 20 ohm. Jika muatan elektron  $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Coulomb}$ . Hitunglah:
  - a. kuat arus yang melalui penghantar.
  - b. beda potensial ujung-ujung penghantar.
2. Suatu penghantar pada saat diberi beda potensial 4 volt ternyata arus yang mengalir 3 mA, maka berapakah arus yang mengalir pada penghantar tersebut bila diberi beda potensial 6 volt

### C. ARUS LISTRIK DALAM RANGKAIAN TERTUTUP

Rangkaian tertutup adalah rangkaian yang ujung dan pangkal rangkaian bertemu. Di dalam sumber listrik pada umumnya terdapat hambatan yang disebut hambatan dalam yang diberi lambang  $r$ .

Gambar 5.6 di bawah adalah rangkaian tertutup sederhana yang terdiri atas hambatan luar  $R$ , elemen yang ber GGL =  $E$ , dan berhambatan dalam  $r$  yang dihubungkan dengan kawat penghantar.



Gambar 5.6 Rangkaian tertutup

Besar kuat arus listrik yang mengalir dalam rangkaian tertutup tersebut dapat dihitung dengan persamaan:

$$i = \frac{E}{R + r}$$

$i$  = kuat arus listrik (dalam ampere)  
 $E$  = GGL baterai (dalam volt)  
 $R$  = hambatan luar (dalam ohm)  
 $r$  = hambatan dalam (dalam ohm)

Dari persamaan di atas dapat dijelaskan lagi:

$$E = i(R + r)$$

$$E = iR + ir$$

$i \cdot R$  disebut tegangan jepit ( $V_j$ ), sehingga

$$V_j = i \cdot R$$

$i \cdot r$  disebut tegangan polarisasi ( $E_{pol}$ ) sehingga

$$E_{pol} = i \cdot r$$

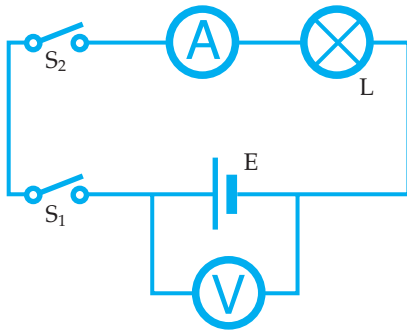
Jadi

$$E = V_j + E_{pol}$$

Untuk memahami pengertian GGL baterai (sumber listrik) dan tegangan jepit baterai, maka lakukan percobaan di bawah ini.



**Percobaan 5.4:** GGL dan tegangan jepit



Rangkailah alat-alat seperti di atas. Tutup saklar  $S_1$  dan saklar  $S_2$  dalam keadaan terbuka. Berapakah nilai dari beda potensialnya. Bagaimana keadaan lampu?

Tutup saklar  $S_1$  dan  $S_2$ . Berapakah nilai dari beda potensialnya? Bagaimana keadaan lampu?

Informasi:

1. Pengukuran beda potensial pada langkah percobaan b adalah kegiatan pengukuran GGL (gaya gerak listrik).
2. Pengukuran beda potensial pada langkah percobaan c adalah kegiatan pengukuran tegangan jepit.

Diskusi

- a. Apakah yang dimaksud GGL?
- b. Apakah yang dimaksud tegangan jepit?
- c. Bagaimana nilai dari GGL dan tegangan jepit? Mengapa?

**Contoh soal 5.3**

1. Sebuah lampu yang berhambatan  $9,8 \text{ ohm}$  dinyalakan dengan sebuah baterai yang ber-GGL  $1,5 \text{ volt}$  dan berhambatan dalam  $0,2 \text{ ohm}$ .

Hitunglah: a. kuat arus yang mengalir dalam rangkaian  
b. tegangan jepit baterai  
c. tegangan polarisasi baterai

Penyelesaian:

Diketahui:  $R = 9,8 \text{ } \Omega$  ;  $r = 0,2 \text{ } \Omega$   
 $E = 1,5 \text{ V}$

- Ditanya: a.  $i = \dots?$   
 b.  $V_j = \dots?$   
 c.  $E_{\text{pol}} = \dots?$

Jawab:

$$\begin{aligned} \text{a. } i &= \frac{E}{R + r} \\ &= \frac{1,5}{9,8 + 0,2} = 0,15\text{A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } V_j &= i \cdot R \\ &= 0,15 \times 9,8 \\ &= 1,47 \text{ volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. } E_{\text{pol}} &= i \cdot r \\ &= 0,15 \times 0,2 \\ E_{\text{pol}} &= 0,03 \text{ volt} \end{aligned}$$

2. Suatu penghantar pada saat ujung-ujungnya diberi beda potensial  $v$  arus yang mengalir 50 mA.

Berapakah arus listrik yang mengalir melalui penghantar tersebut jika diberi beda potensial 1,5 V.

*Penyelesaian:*

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: } V_1 &= V ; & i_1 &= 50 \text{ mA} \\ V_2 &= 1,5\text{V} \end{aligned}$$

Ditanya:  $i_2 = \dots?$

Jawab:

$$\begin{aligned} \frac{V_1}{i_1} &= \frac{V_2}{i_2} \\ \frac{V}{50} &= \frac{1,5\text{V}}{i_2} \\ i_2 &= 75 \text{ mA} \end{aligned}$$

3. Sebuah alat listrik yang berhambatan 19,8 dihubungkan dengan baterai yang ber-GGL =  $E$  volt dan berhambatan dalam 0,2  $\Omega$ . Jika tegangan jepit baterai = 1,98 volt, maka berapa nilai dari  $E$  tersebut?

*Penyelesaian:*

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: } R &= 19,8 \Omega ; & r &= 0,2 \Omega \\ V_j &= 1,98 \text{ volt} \end{aligned}$$

Ditanya:  $E = \dots?$

Jawab:

$$V_j = i \cdot R$$

$$1,98 = i \cdot 19,8$$

$$i = 0,1 \text{ A}$$

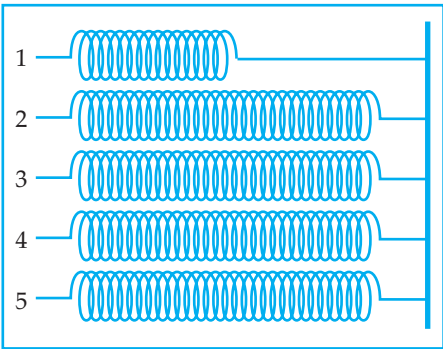
$$E = i (R + r)$$

$$E = 0,1 (19,8 + 0,2) = 2 \text{ volt}$$

D. HAMBATAN SEPOTONG KAWAT PENGHANTAR

Kawat penghantar ada yang berukuran besar atau kecil, ada juga yang panjang atau pendek serta dapat dibuat dari berbagai jenis logam.

Ternyata hal-hal tersebut berpengaruh pada nilai hambatan kawat penghantar tersebut. Untuk lebih jelasnya diskusikan hasil pengukuran hambatan beberapa jenis kawat penghantar di bawah ini.



Gambar 5.5 Kawat penghantar

Keterangan:

- 1 adalah kawat nikelin dengan panjang 0,5 m dan luas penampangnya 0,1 mm<sup>2</sup>.
- 2 adalah kawat nikelin dengan panjang 1 m dan luas penampangnya 0,1 mm<sup>2</sup>.
- 3 adalah kawat nikelin dengan panjang 1 m dan luas penampangnya 0,2 mm<sup>2</sup>.
- 4 adalah kawat nikrom dengan panjang 1 m dan luas penampangnya 0,1 mm<sup>2</sup>.
- 5 adalah kawat tembaga dengan panjang 1 m dan luas penampangnya 0,1 mm<sup>2</sup>.

Jika masing-masing kawat penghantar tersebut di atas diukur dengan ohm meter diperoleh hasil seperti pada tabel di bawah ini.

No.	Kawat ke-	Besar hambatan (dalam ohm)
1.	1	12,5
2.	2	25
3.	3	12,5
4.	4	45
5.	5	8,5

## Kegiatan 5.2

Diskusikan dengan kelompok Anda!

Dari keterangan gambar 5.5 dan hasil pengukuran yang tertera pada tabel halaman 138, apakah yang dapat Anda simpulkan dari:

- 1) data nomor 1 dan nomor 2?
- 2) data nomor 2 dan nomor 3?
- 3) data nomor 2, nomor 4 dan nomor 5?

Secara matematis, besar hambatan kawat penghantar dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$R = \rho \frac{\ell}{A}$$

$R$  = hambatan kawat penghantar (ohm)  
 $\rho$  = hambatan jenis kawat (ohm meter)  
 $\ell$  = panjang kawat (m)  
 $A$  = luas penampang kawat ( $\text{m}^2$ )

### Contoh soal 5.4

1. Kawat penghantar dengan panjang 50 meter dan luas penampang  $2 \text{ cm}^2$ , serta hambatan jenis kawat  $4 \cdot 10^{-4} \Omega\text{m}$ . Hitunglah besar hambatan kawat tersebut!

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $\ell = 50 \text{ m}$

$$A = 2 \text{ cm}^2 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\rho = 4 \cdot 10^{-4} \Omega\text{m}$$

Ditanya:  $R = \dots?$

Jawab:

$$R = \rho \frac{\ell}{A}$$

$$R = 4 \cdot 10^{-4} \frac{50}{2 \cdot 10^{-4}} = 100 \Omega$$

2. Sebuah kawat penghantar dengan panjang  $2 \ell$  dan luas penampang  $\frac{1}{2}A$  mempunyai hambatan  $50 \Omega$ . Jika diambil kawat lain yang sejenis dengan panjang  $8 \ell$  dan luas penampang  $\frac{1}{4}A$ , maka berapakah besar hambatannya?

*Penyelesaian:*

$$\text{Diketahui: } \ell_1 = 2 \ell \quad ; \quad A_1 = \frac{1}{2}A \quad ; \quad R_1 = 50 \Omega$$

$$\ell_2 = 8 \ell \quad ; \quad A_2 = \frac{1}{4}A \quad ; \quad \rho_1 = \rho_2$$

Ditanya:  $R_2 = \dots?$

Jawab:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho_1 \ell_1}{A_1} \times \frac{A_2}{\rho_1 \ell_1}$$

$$\frac{50}{R_2} = \frac{2\ell}{\frac{1}{2}A} \times \frac{\frac{1}{4}A}{8\ell}$$

$$R_2 = 400 \, \Omega$$

## Uji Pemahaman 5.2

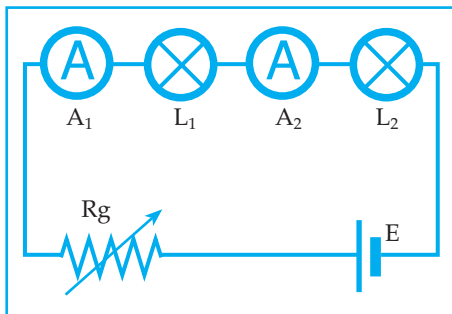
### Kerjakan soal berikut!

- Sebuah lampu yang berhambatan 2,9 ohm dinyalakan dengan sebuah baterai yang ber-GGL 1,5 volt. Ternyata kuat arus yang mengalir dalam rangkaian sebesar 0,5 Ampere. Hitunglah:
  - hambatan dalam baterai
  - tegangan jepit baterai.
- Sebuah kawat tembaga mempunyai panjang 200 m dan luas penampang 20 mm<sup>2</sup>. Jika hambatan jenis tembaga 1,7 · 10<sup>-8</sup> Ωm, berapakah hambatan kawat tembaga tersebut?

## E. RANGKAIAN LISTRIK

Rangkaian listrik ada dua macam, yaitu rangkaian listrik tidak bercabang dan rangkaian listrik bercabang.

### 1. Rangkaian Listrik Tidak Bercabang



Gambar 5.7 Rangkaian tidak bercabang

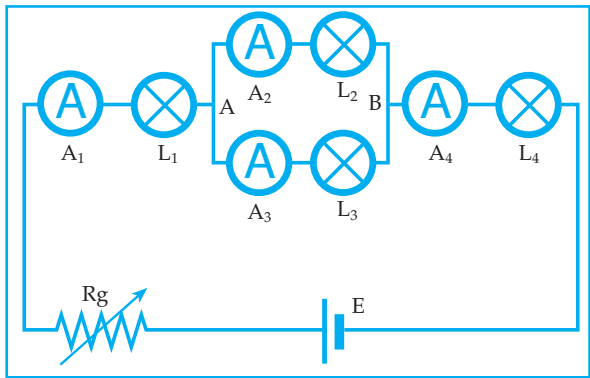
Keterangan:

Rangkaian di samping adalah rangkaian tidak bercabang.

- A<sub>1</sub> dan A<sub>2</sub> adalah amperemeter.
- L<sub>1</sub> dan L<sub>2</sub> adalah lampu.
- R<sub>g</sub> adalah hambatan geser.
- E adalah elemen (baterai).

Setelah nilai hambatan geser diubah-ubah ternyata angka yang ditunjukkan oleh amperemeter 1 dan amperemeter 2 selalu sama. Jadi “besar kuat arus listrik yang mengalir melalui rangkaian tidak bercabang dimana-mana sama besar.”

## 2. Rangkaian Listrik Bercabang



Keterangan:

Rangkaian di atas adalah rangkaian bercabang.

Titik A dan titik B disebut titik cabang.

Gambar 5.8 Rangkaian bercabang

Setelah nilai hambatan geser diubah-ubah ternyata angka yang ditunjukkan oleh amperemeter 1 sama dengan jumlah angka yang ditunjukkan oleh amperemeter 2 dan amperemeter 3 sama dengan angka yang ditunjukkan oleh amperemeter 4. Jadi “Kuat arus listrik yang masuk titik percabangan sama dengan kuat arus yang keluar dari titik percabangan tersebut.”

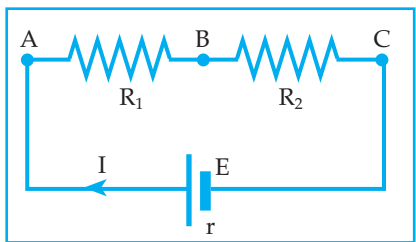
Pernyataan tersebut dikenal dengan *hukum I Kirchoff*.

## F. RANGKAIAN HAMBATAN

### 1. Rangkaian Hambatan Seri

Jika terdapat beberapa hambatan dirangkai seri, kemudian dihubungkan dengan sumber tegangan, maka masing-masing hambatan itu dialiri arus listrik yang sama besar.

Dari rangkaian hambatan di bawah ini diperoleh:



Gambar 5.9 Hambatan seri

1. besar hambatan pengganti ( $R_s$ ):

$$R_s = R_1 + R_2$$

2. besar kuat arus yang mengalir (I):

$$I = \frac{E}{R_s + r}$$

3.  $V_{AC} = V_{AB} + V_{BC}$

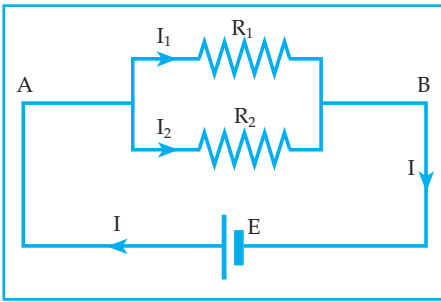
$$I \cdot R_s = I \cdot R_1 + I \cdot R_2$$



## 2. Rangkaian Hambatan Paralel

Jika terdapat beberapa hambatan dirangkai paralel, kemudian dihubungkan dengan sumber tegangan, maka masing-masing hambatan itu mempunyai beda potensial yang sama.

Dari rangkaian hambatan di bawah ini diperoleh:



Gambar 5.10 Hambatan paralel

a. besar hambatan pengganti ( $R_p$ ):

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

b. besar kuat arus yang mengalir ( $I$ ):

$$I = \frac{E}{R_p + r}$$

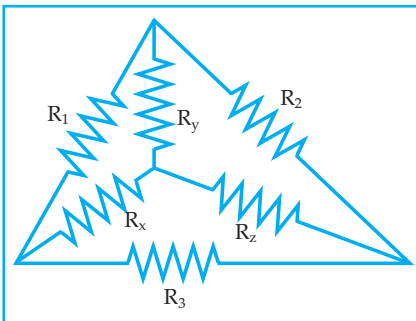
c.  $I_1 = \frac{V_{AB}}{R_1}$

$$I_2 = \frac{V_{AB}}{R_2}$$

$$I = I_1 + I_2$$

Catatan:

Jika terdapat rangkaian hambatan yang sulit, gunakan cara segitiga hambatan.



Gambar 5.11 Segitiga hambatan

$$R_x = \frac{R_1 \times R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_y = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_z = \frac{R_2 \times R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

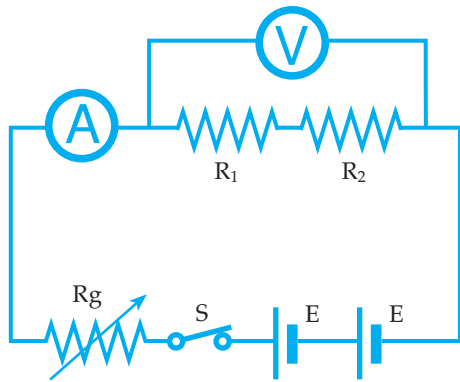
Untuk lebih jelasnya mengenai nilai pengganti rangkaian hambatan, maka lakukan percobaan di bawah ini!



**Percobaan 5.5:** Rangkaian hambatan

**Kegiatan I**

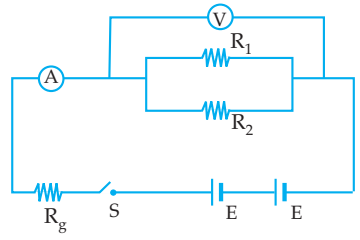
*Rangkaian seri hambatan*



Rangkailah alat-alat seperti gambar di atas. Tutup saklar *S* dan catatlah skala yang ditunjukkan oleh amperemeter dan voltmeter dan hasilnya masukkan pada tabel. Ulangi kegiatan ini dengan mengubah posisi tombol hambatan geser. Hasil penunjukan skala amperemeter dan voltmeter masukkan pada tabel. Adapun kolom pada tabel yang dibuat adalah:  $V$ ,  $I$ ,  $R_s = V/I$ , dan  $R_1 + R_2$

**Kegiatan II**

*Rangkaian paralel hambatan*

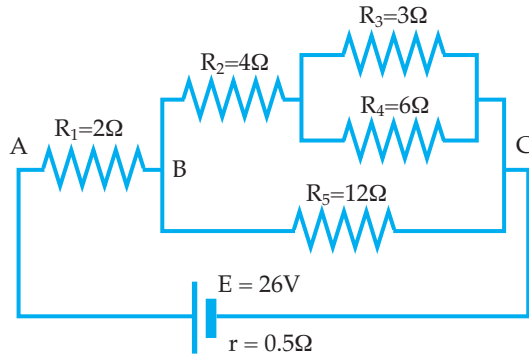


Rangkai alat-alat seperti gambar di atas. Tutup saklar *S* dan catatlah skala yang ditunjukkan oleh amperemeter dan voltmeter dan hasilnya masukkan pada tabel. Ulangi kegiatan ini dengan mengubah tombol hambatan geser. Hasil penunjukan amperemeter dan voltmeter, masukkan pada tabel. Adapun kolom pada tabel yang dibuat adalah  $V$ ,  $I$ ,  $1/R_p = I/V$ , dan  $1/R_1 + 1/R_2$

Dari rangkaian seri hambatan dan paralel hambatan, tulislah kesimpulan yang Anda dapatkan!

**Contoh soal 5.5**

1.



Dari rangkaian listrik di samping maka tentukan:

- hambatan pengganti antara A dan C
- kuat arus yang keluar dari elemen
- $V_{AB}$ ,  $V_{BC}$  dan  $V_{AC}$
- kuat arus yang melalui  $R_2$  dan  $R_5$

*Penyelesaian:*

$$\begin{aligned}
 \text{a.} \quad \frac{1}{R_{p1}} &= \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} \\
 \frac{1}{R_{p1}} &= \frac{2+1}{6} \\
 R_{p1} &= \frac{6}{3} = 2 \, \Omega \\
 R_{s1} &= R_2 + R_{p1} \\
 R_{s1} &= 4 + 2 = 6 \, \Omega \\
 \frac{1}{R_{p2}} &= \frac{1}{R_{s1}} + \frac{1}{R_5} \\
 \frac{1}{R_{p2}} + \frac{1}{6} + \frac{1}{12} &= \frac{2+1}{12} \\
 R_{p2} &= \frac{12}{3} = 4 \, \Omega \\
 R_t &= R_1 + R_{p2} \\
 R_t &= 2 + 4 = 6 \, \Omega
 \end{aligned}$$

- misalnya kuat arus yang keluar dari elemen =  $i$ , maka:

$$\begin{aligned}
 i &= \frac{E}{R_t + r} \\
 i &= \frac{26}{6 + 0,5} = 4 \text{ A}
 \end{aligned}$$

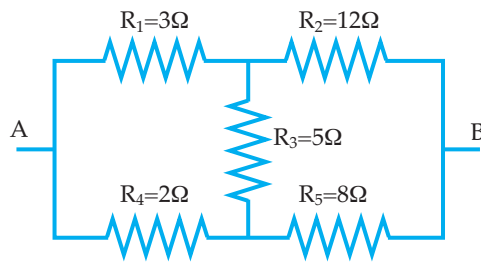
- $V_{AB} = i \cdot R_1 = 4 \cdot 2 = 8 \text{ volt}$   
 $V_{BC} = i \cdot R_{p2} = 4 \cdot 4 = 16 \text{ volt}$   
 $V_{AC} = i \cdot R_t = 4 \cdot 6 = 24 \text{ volt}$

- Misal kuat arus yang melalui  $R_2$  adalah  $i_1$  dan yang melalui  $R_5$  adalah  $i_2$  maka:

$$\begin{aligned}
 i_1 &= \frac{V_{BC}}{R_{s1}} = \frac{16}{6} = 2,67 \text{ A} \\
 i_2 &= \frac{V_{BC}}{R_5} = \frac{16}{12} = 1,33 \text{ A}
 \end{aligned}$$

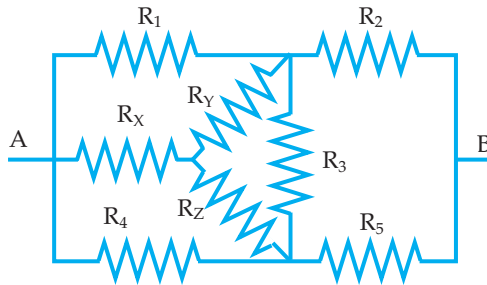
Jadi hambatan pengganti antara A dan C =  $R_t = 6 \, \Omega$

2.



Dari rangkaian di samping hitung hambatan pengganti antara A dan B!

Penyelesaian:



$$R_x = \frac{R_1 \cdot R_4}{R_1 + R_3 + R_4} = \frac{6}{10} = 0,6 \, \Omega$$

$$R_y = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3 + R_4} = \frac{15}{10} = 1,5 \, \Omega$$

$$R_z = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_1 + R_3 + R_4} = \frac{10}{10} = 1 \, \Omega$$

$$R_{s1} = R_y + R_2 = 1,5 + 12 = 13,5 \, \Omega$$

$$R_{s2} = R_z + R_5 = 1 + 8 = 9 \, \Omega$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_{s1}} + \frac{1}{R_{s2}}$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{13,5} + \frac{1}{9} = \frac{22,5}{121,5}$$

$$R_p = \frac{121,5}{22,5} = 5,4 \, \Omega$$

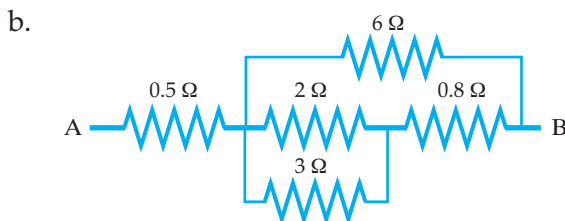
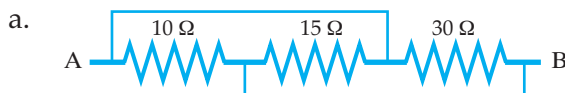
$$R_t = R_x + R_p = 0,6 + 5,4 = 6 \, \Omega$$

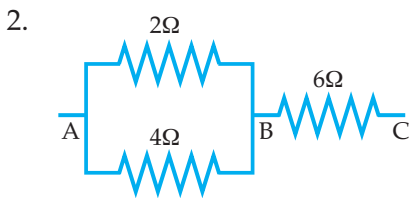
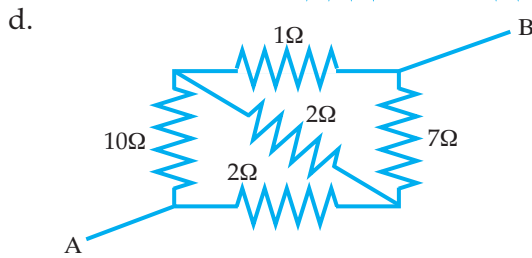
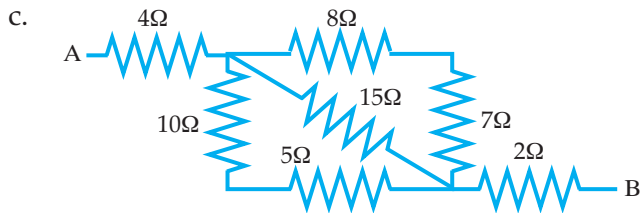
Jadi hambatan pengganti antara A dan B =  $R_t = 6 \, \Omega$

### Uji Pemahaman 5.3

Kerjakan soal berikut!

1. Berapakah besar hambatan pengganti antara A dan B dari hambatan-hambatan di bawah ini:





Jika kuat arus yang masuk titik A = 9 mA, hitunglah:

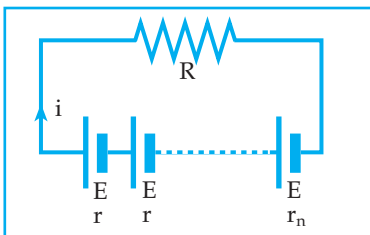
a. kuat arus yang mengalir melalui masing-masing hambatan.

b.  $V_{AB}$ ,  $V_{BC}$ , dan  $V_{AC}$

## G. GABUNGAN SUMBER TEGANGAN LISTRIK

Hubungan beberapa elemen identik dalam suatu rangkaian seri atau paralel dapat mempengaruhi besar kuat arus yang mengalir melalui rangkaian tersebut.

### 1. Rangkaian Seri Elemen

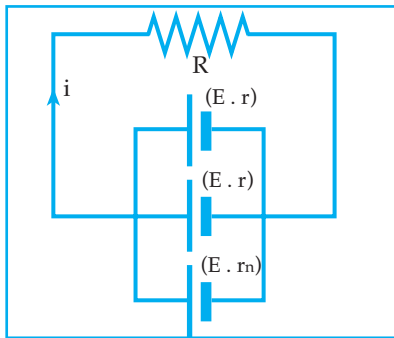


Gambar 6.12 Elemen dirangkai seri

$$i = \frac{nE}{R + nr}$$

$n$  = jumlah elemen

## 2. Rangkaian Paralel Elemen



Gambar 6.13 Elemen dirangkai paralel

$$i = \frac{E}{R + \frac{r}{n}}$$

$n$  = jumlah elemen

### Contoh soal 5.7

1. Empat buah baterai yang masing-masing ber-GGL 1,5 V dan berhambatan dalam  $1\ \Omega$  dirangkai dan dihubungkan dengan sebuah lampu yang berhambatan  $10\ \Omega$ . Berapa kuat arus listrik yang mengalir melalui rangkaian jika baterai itu dirangkai secara:

a) seri

b) paralel

Diketahui:  $n = 4$

$$r = 1 \text{ } \Omega$$
$$E = 1,5 \text{ V}$$
$$R = 10 \, \Omega$$

Ditanya: i jika rangkaian baterai:

a) seri

b) paralel

Jawab:

$$\begin{aligned} \text{a. } i &= \frac{nE}{R + nr} \\ i &= \frac{4 \times 1,5}{10 + (4 \times 1)} = \frac{6}{14} \\ i &= 0,429 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } i &= \frac{nE}{R + r_n} \\ i &= \frac{1,5}{10 + \frac{1}{4}} = \frac{1,5}{10,25} \\ i &= 0,146 \text{ A} \end{aligned}$$

## H. HUKUM II KIRCHOFF

Menurut hukum II Kirchoff: dalam suatu rangkaian tertutup, jumlah aljabar GGL dan penurunan beda potensial ( $I \cdot R$ ) sama dengan nol.

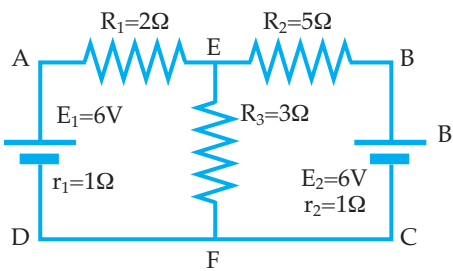
$$\Sigma E + \Sigma I R = 0$$

Perjanjian tanda E dan i:

- jika arah arus searah dengan arah loop, maka i bertanda positif
- jika arah loop bertemu dengan kutub positif sumber tegangan, maka E bertanda positif.

**Contoh soal 5.8**

1.

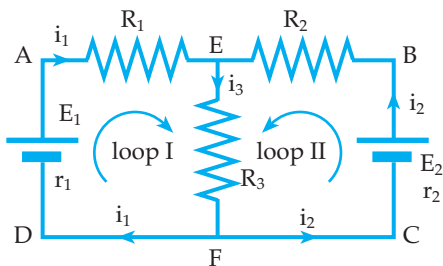


Dari rangkaian listrik di samping hitunglah:

- kuat arus pada masing-masing cabang
- beda potensial antara titik E dan F juga antara E dan C

*Penyelesaian:*

a.



Menurut Hk. I Kirchoff:

$$i_1 + i_2 = i_3 \dots\dots\dots (1)$$

Loop I (AEFDA):

$$\begin{aligned} \Sigma IR + \Sigma E &= 0 \\ i_1 (R_1 + r_1) + i_3 \cdot R_3 - E_1 &= 0 \\ 3 i_1 + 3 i_3 - 6 &= 0 \\ 3 i_1 + 3 i_3 &= 6 \\ i_1 + i_3 &= 2 \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

Loop II (BEFCB):

$$\begin{aligned} \Sigma IR + \Sigma E &= 0 \\ i_2 (R_2 + r_2) + i_3 \cdot R_3 - E_2 &= 0 \\ 6 i_2 + 3 i_3 - 6 &= 0 \\ 2 i_2 + i_3 &= 2 \\ 2(i_3 - i_1) + i_3 &= 2 \\ -2 i_1 + 3 i_3 &= 2 \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2 \times (2) : \quad 2 i_1 + 2 i_3 &= 4 \\ (3) : \quad -2 i_1 + 3 i_3 &= 2 \quad + \\ \hline 5 i_3 &= 6 \\ i_3 &= 1,2 \text{ A} \\ i_1 + i_3 &= 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi :} \quad i_1 &= 0,8 \text{ A} \\ i_2 &= 0,4 \text{ A} \\ i_3 &= 1,2 \text{ A} \end{aligned}$$

$$i_1 + 1,2 = 2$$

$$i_1 = 0,8 \text{ A}$$

$$i_2 = i_3 - i_1$$

$$i_2 = 1,2 - 0,8 = 0,4 \text{ A}$$

b.  $V_{EF} = \Sigma IR + \Sigma E$

$$V_{EF} = i_3 R_3 + 0 = 1,2 \times 3 = 3,6 \text{ volt}$$

$$V_{EC} = \Sigma IR + \Sigma E$$

$$V_{EC} = -i_2 (R_2 + r_2) + E_2$$

$$V_{EC} = -0,4 (6) + 6 = 3,6 \text{ volt}$$

## Uji Pemahaman 5.4

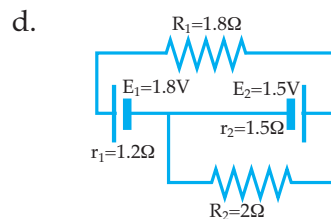
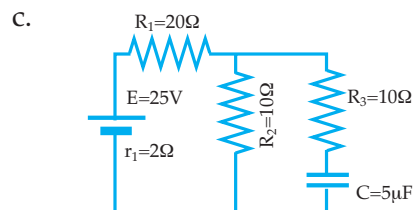
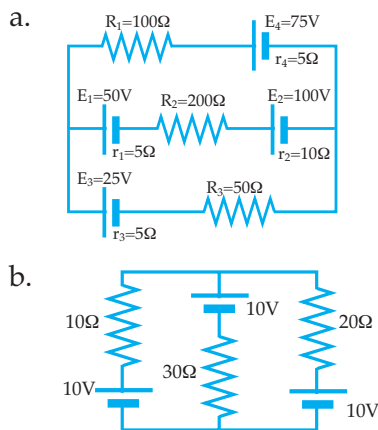
Kerjakan soal berikut!

1. Tiga buah elemen dengan GGL masing-masing 1,5 volt dan hambatan dalam 0,1 ohm disusun paralel dan dihubungkan dengan alat dengan hambatan  $9 \frac{29}{30}$  ohm.

Tentukan: a. kuat arus

b. tegangan jepit

2. Hitunglah kuat arus pada masing-masing cabang dari rangkaian di bawah ini!



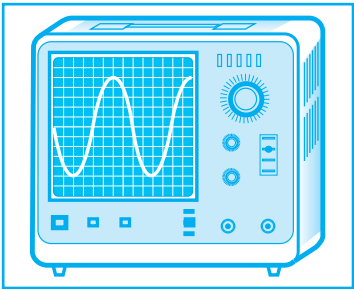
## I. SUMBER ARUS

Sumber arus listrik adalah alat yang dapat menghasilkan arus listrik.

Sumber arus listrik dikelompokkan menjadi dua, yaitu sumber arus listrik



searah atau sumber DC (*Direct Current*) dan sumber arus listrik bolak-balik atau sumber AC (*Alternating Current*). Alat yang dapat menunjukkan bentuk arus DC dan bentuk arus AC adalah Osiloskop.



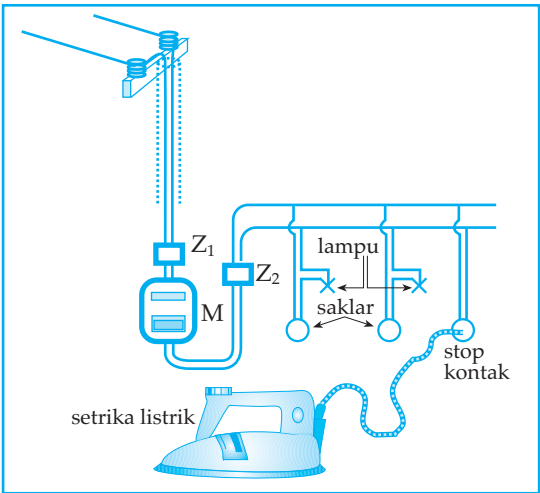
Gambar 5.13 Osiloskop

Bentuk arus DC dan bentuk arus AC yang terlihat melalui osiloskop seperti pada gambar 5.14 di bawah ini.



Gambar 5.14 Bentuk arus DC dan AC

Sumber arus bolak-balik adalah sumber arus yang menghasilkan arus bolak-balik, misalnya dinamo sepeda, generator arus bolak-balik, stop kontak arus bolak-balik. Pemasangan alat-alat listrik di rumah yang menggunakan arus listrik bolak-balik harus terpasang secara paralel. Perhatikan gambar 5.15 di bawah ini.



Gambar 5.15 Rangkaian alat listrik di rumah

Sumber arus searah adalah sumber yang menghasilkan arus searah, misalnya elemen volta, elemen Daniell, elemen basah, elemen kering (baterai) dan aki.

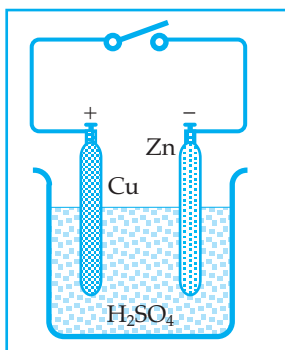
Sumber arus searah di atas disebut juga dengan elemen elektrokimia, reaksi kimia berlangsung di dalam sumber listrik tersebut.

Elemen primer, yaitu elemen yang memerlukan pengganti bahan pereaksi setelah sejumlah energi dibebaskan melalui rangkaian elemen.

Elemen sekunder adalah elemen yang dapat memperbarui bahan pereaksi setelah dialiri arus dari sumber lain yang arahnya berlawanan dengan arus yang dihasilkan elemen itu, misalnya akki.

Beberapa contoh sumber arus searah, yaitu sebagai berikut.

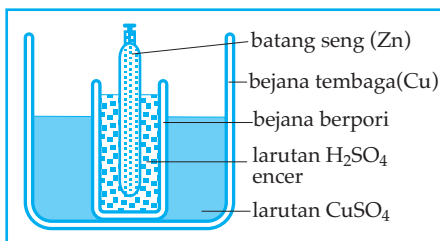
### 1. Elemen Volta



Gambar 5.16 Elemen volta

- Larutan elektrolit :  $\text{H}_2\text{SO}_4$
- Kutub positif : Cu (tembaga)
- Kutub negatif : Zn (seng)
- Selama elemen digunakan pada lempeng tembaga (Cu) timbul pembentukan gas hidrogen (peristiwa polarisasi)
- Beda potensialnya  $\pm 1$  volt.

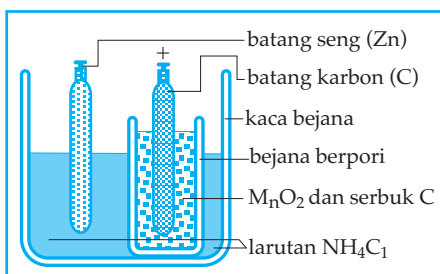
### 2. Elemen Daniell



Gambar 5.17 Elemen Daniell

Ciri khas: memiliki depolarisator (untuk mencegah terjadinya pembentukan gas hidrogen). Di sini depolarisator ( $\text{CuSO}_4$ ) akan mengikat gas hidrogen. Akibatnya alat ini dapat dipakai lebih lama. GGL elemen ini sekitar 1 volt.

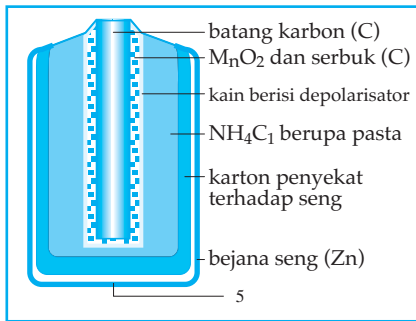
### 3. Elemen Leclanche Basah



Gambar 5.18 Elemen Leclanche basah

Elektrolitnya adalah  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dan depolarisatornya mangandioksida ( $\text{MnO}_2$ ). Reaksi pengikatan hidrogen dengan  $\text{MnO}_2$  ini berlangsung kurang cepat sehingga lama kelamaan terjadi juga polarisasi. GGL akan turun dari harga GGL semula (1,5 volt).

#### 4. Elemen Kering (Elemen Leclanche Kering)

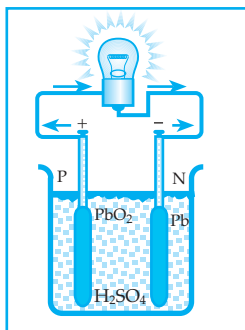


Gambar 5.19 Elemen kering

Elemen Leclanche kering terdiri dari:

- sebuah bejana seng, sekaligus sebagai kutub negatif
- karton penyekat terhadap seng
- elektrolit yang berupa campuran pasta  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dengan serbuk kayu, tepung atau getah
- batang karbon, sebagai kutub positif
- GGL elemen kering  $\pm 1,5 \text{ V}$

#### 5. Elemen Sekunder



Gambar 5.20 Elemen sekunder

- Larutan elektrolitnya :  $\text{H}_2\text{SO}_4$
- Kutub positifnya :  $\text{PbO}_2$
- Kutub negatifnya :  $\text{Pb}$
- Selama accu digunakan  $\text{PbO}_2$  maupun  $\text{Pb}$  akhirnya berubah menjadi  $\text{PbSO}_4$ .
- Beda potensialnya  $\pm 2 \text{ volt}$

## J. ENERGI DAN DAYA LISTRIK

### 1. Energi Listrik (W)

Energi listrik adalah kemampuan arus listrik untuk melakukan usaha.

Besar energi listrik dapat dirumuskan:

- $W = V \cdot I \cdot t$
- $W = I^2 \cdot R \cdot t$
- $W = V^2 \cdot \frac{t}{R}$

- $W$  = energi listrik  $\longrightarrow$  (Joule)  
 $V$  = beda potensial  $\longrightarrow$  (Volt)  
 $I$  = kuat arus  $\longrightarrow$  (ampere)  
 $R$  = hambatan  $\longrightarrow$  (ohm)  
 $t$  = waktu  $\longrightarrow$  (sekon)

### 2. Energi Kalor (Q)

Dalam suatu penghantar energi listrik diubah menjadi energi kalor.

Dengan demikian besar energi kalor dapat dirumuskan:

$$Q = 0,24 V \cdot I \cdot t \quad \text{kalori}$$

$$1 \text{ Joule} = 0,24 \text{ kalori}$$

### 3. Daya Listrik (P)

Daya listrik adalah energi listrik tiap detik.

$$1. P = \frac{W}{t}$$

$$2. P = V \cdot I$$

$$3. P = I^2 \cdot R$$

$$4. P = \frac{V^2}{R}$$

Satuan dari daya listrik (P) adalah joule/sekon atau watt.

Satuan yang lain: Kilo Watt (KW), Mega Watt (MW).

$$1 \text{ KW} = 1.000 \text{ W}$$

$$1 \text{ MW} = 1.000.000 \text{ W}$$

Satuan untuk energi listrik (W) selain joule adalah:

watt sekon (Ws), watt jam (WH), kilo watt jam (KWH).

$$1 \text{ Ws} = 1 \text{ joule}$$

$$1 \text{ WH} = 3.600 \text{ joule}$$

$$1 \text{ KWH} = 1.000 \text{ WH}$$

$$1 \text{ KWH} = 3.600.000 \text{ joule}$$

#### Contoh soal 5.9

1. Kuat arus listrik sebesar 0,5 A mengalir melalui penghantar yang ber hambatan 20 ohm selama 5 menit. Berapakah daya listrik pada penghantar selama itu?

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $i = 0,5 \text{ A}$

$$R = 20 \text{ ohm}$$

$$t = 5 \text{ menit} = 300 \text{ detik}$$

Ditanya:  $P = \dots?$

Jawab:

$$P = i^2 \cdot R$$

$$= 0,25 \cdot 20$$

$$P = 5 \text{ watt}$$

2. Lampu listrik yang tertulis 25 W, 110 V dinyalakan selama 10 jam. Jika 1 KWh berharga Rp. 500,00, maka berapakah biaya yang harus dibayar selama itu?

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $P = 25 \text{ W}$

$$V = 110 \text{ volt}$$

$$t = 10 \text{ jam}$$

$$1 \text{ KWh} = \text{Rp. } 500,00$$

Ditanya: Besar biaya = ...?

Jawab:

$$W = P \cdot t$$

$$= 25 \cdot 10 = 250 \text{ Wh}$$

$$W = 0,25 \text{ KWh}$$

$$\text{Jadi biayanya} = 0,25 \times \text{Rp. } 500,00$$

$$= \text{Rp. } 12.500,00$$

### Uji Pemahaman 5.5

**Kerjakan soal berikut!**

1. Sebuah lampu listrik tertulis 100 W, 220 V dihubungkan pada sumber tegangan listrik 110 V selama 10 jam. Jika 1 KWh berharga Rp 150,00, maka berapa biaya yang harus dibayar selama itu?
2. Dua buah lampu listrik yang masing-masing berhambatan  $15 \Omega$  dan  $10 \Omega$  dirangkai paralel dan dihubungkan dengan aki yang ber-GGL 12 V dan berhambatan dalam  $2 \Omega$ . Hitunglah:
  - a. daya yang muncul pada masing-masing lampu
  - b. energi yang digunakan kedua lampu selama 10 menit.

## Rangkuman

- Arus listrik adalah aliran muatan-muatan listrik.
- Penyebab mengalirnya arus listrik karena adanya beda potensial listrik.
- Alat ukur kuat arus listrik adalah amperemeter.
- Alat ukur beda potensial listrik adalah voltmeter.
- Kuat arus listrik:  $I = \frac{Q}{t}$
- Hukum ohm:  $v \sim i$  atau  $v = i \cdot R$
- Arus listrik dalam rangkaian tertutup
$$i = \frac{E}{R + r} \quad V_j = i \cdot R$$
$$E = V_j + E_{\text{pol}} \quad E_{\text{pol}} = i \cdot r$$
- Hambatan sepotong kawat penghantar:  $R = \rho \frac{\ell}{A}$

- Rangkaian hambatan
  - a. seri :  $R_s = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$
  - b. paralel:  $\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$
- Gabungan sumber tegangan listrik
  - a. seri:  $i = \frac{nE}{R + nr}$
  - b. paralel:  $i = \frac{E}{R + \frac{r}{n}}$
- Hukum II Kirchoff:  $\Sigma E + \Sigma iR = 0$
- Sumber tegangan listrik ada dua macam yaitu sumber arus searah (DC) dan sumber arus bolak-balik (AC)
- Energi listrik
 
$$W = v.i.t = i^2.R.t = \frac{v^2 t}{R}$$
- Daya listrik
 
$$P = \frac{W}{t} = v.i = i^2.R = \frac{v^2}{R}$$

## KATA KUNCI

- |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| - arus listrik        | - tegangan polarisasi |
| - kuat arus           | - hambatan seri       |
| - beda potensial      | - hambatan paralel    |
| - amperemeter         | - energi listrik      |
| - voltmeter           | - energi kalor        |
| - hambatan penghantar | - daya listrik        |
| - tegangan jepit      |                       |



## KOMPETENSI

### A. Pilih satu jawaban yang paling benar!

1. Arus listrik dapat mengalir dalam suatu penghantar listrik jika terdapat ....
  - a. potensial listrik pada setiap titik pada penghantar tersebut
  - b. elektron dalam penghantar tersebut
  - c. beda potensial listrik pada ujung-ujung penghantar tersebut
  - d. muatan positif dalam penghantar tersebut
  - e. muatan positif dan negatif dalam penghantar tersebut
2. Besar hambatan listrik suatu kawat penghantar tergantung pada:
  - (1) panjang kawat
  - (2) luas penampang kawat
  - (3) jenis kawat
  - (4) kuat arus listrik yang mengalir pada kawat

Pernyataan yang benar adalah ....

- a. (1), (2), (3), (4)
  - b. (1), (2), (3)
  - c. (1), (3)
  - d. (2), (4)
  - e. (4) saja
3. Semakin besar beda potensial ujung-ujung kawat penghantar maka semakin:
    - (1) besar muatan listrik yang mengalir melalui penghantar
    - (2) besar kuat arus listrik yang mengalir melalui penghantar
    - (3) besar nilai hambatan jenis penghantar

Pernyataan yang benar adalah ....

- a. (1), (3)
  - b. (2), (3)
  - c. (1), (2)
  - d. (1), (2), (3)
  - e. (3)
4. Seutas kawat dengan panjang 8 m, luas penampang  $0,5 \text{ mm}^2$  serta memiliki hambatan jenis  $2,5 \cdot 10^{-6} \Omega \text{m}$ . Jika kawat dialiri arus listrik hingga ujung-ujungnya mempunyai beda potensial 8 volt, maka kuat arus listrik yang mengalir melalui penghantar tersebut adalah ....
    - a. 0,2 A
    - b. 0,02 A
    - c. 0,002 A
    - d. 2 A
    - e. 20 A
  5. Nilai hambatan jenis dari suatu kawat penghantar tergantung:
    - (1) panjang kawat
    - (2) luas penampang kawat
    - (3) jenis kawat
    - (4) bentuk kawat

Pernyataan yang benar adalah ....

    - a. (1), (2), (3)
    - b. (1), (3)
    - c. (2), (4)
    - d. (3) saja
    - e. (4) saja
  6. Aki termasuk elemen sekunder sebab ....
    - a. dapat digunakan setiap saat
    - b. beda potensialnya sekitar 2 volt
    - c. terjadi reaksi kimia pada larutan asam sulfatnya
    - d. bila aliran listrik habis dapat dilakukan penyetruman lagi
    - e. bila aliran listrik habis tidak dapat digunakan lagi

7. Titik A dan B diberi beda potensial listrik tertentu. Pada saat titik A dan B dihubungkan dengan penghantar yang berhambatan 15 ohm arus listrik yang mengalir 20 mA.

Dengan demikian jika titik A dan B dihubungkan dengan penghantar yang berhambatan 10 ohm arus listrik yang mengalir ....

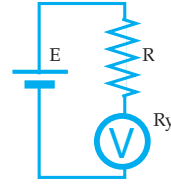
- 15 mA
  - 20 mA
  - 10 mA
  - 30 mA
  - 25 mA
8. Tiga buah penghantar masing-masing berhambatan 6 ohm dirangkai. Yang tidak mungkin sebagai nilai penghambat pengganti dari ketiga hambatan tersebut adalah ....
- 10 ohm
  - 2 ohm
  - 4 ohm
  - 9 ohm
  - 12 ohm
9. Alat pemanas listrik A dengan tegangan listrik V dapat mendidihkan 1 liter air dalam waktu 10 menit. Alat listrik B dengan tegangan v dapat mendidihkan 1 liter air dalam waktu 15 menit. Jika alat pemanas listrik A dan B dirangkai paralel dan diberi tegangan listrik v digunakan untuk mendidihkan 1 liter air diperlukan waktu ....

- 25 menit
- 6 menit
- 5 menit
- 150 menit
- 1,5 menit

10. Bola lampu 60 w, 120 v dipasang pada beda potensial 80 v, maka kuat arus yang melalui bola lampu sebesar ....

- 0,5 A
- 0,75 A
- 0,33 A
- 3 A
- 2 A

11.



Hambatan yang sangat besar diukur dengan voltmeter, jika  $E = 12$  volt dan  $R_v = 20$  k $\Omega$  serta

voltmeter menunjukkan 2 volt, maka hambatan itu bernilai ....

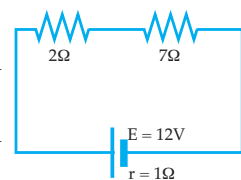
- 10 k $\Omega$
- 24 k $\Omega$
- 40 k $\Omega$
- 100 k $\Omega$
- 440 k $\Omega$

12. Untuk rangkaian di bawah ini, energi yang timbul tiap detiknya dalam tahanan 2  $\Omega$  adalah ....

- 18 watt
- 12 watt
- 9 watt
- 6 watt
- 2,88 watt

13. Pada elemen volta elektrolit yang dipakai adalah  $H_2SO_4$  di mana elektrolit ini selalu terurai menjadi ion  $2H^+$  dan  $SO_4^{2-}$ , ion  $2H^+$  akan bergerak menuju ....

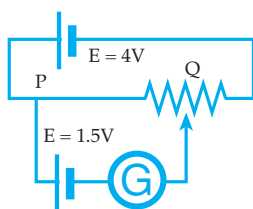
- elektroda Zn
- elektroda Cu
- elektroda Pb



- elektroda C
- elektroda  $PbO_2$



14.



Jika di dalam rangkaian listrik ini, jarum galvanometer tidak menyimpang, maka tegangan antara P dan Q adalah ....

- a. 5,5 V
- b. 4 V
- c. 2 V
- d. 1,5 V
- e. 0,75 V

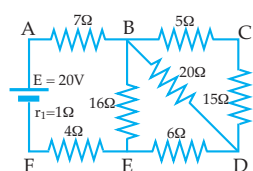
15. Beda potensial kutub-kutub baterai, selama baterai tidak mengalirkan arus listrik disebut ... baterai.

- a. tegangan jepit
- b. GGL
- c. tegangan rugi
- d. tegangan polarisasi
- e. selisih tegangan

### B. Kerjakan soal di bawah ini!

1. Kuat arus listrik 100 mA mengalir melalui suatu kawat penghantar. Berapakah besar muatan listrik yang mengalir melalui penghantar tersebut selama 20 menit?
2. Sebuah baterai pada saat ditutup dengan hambatan luar 9 ohm mengalirkan arus 1,5 A, tetapi jika ditutup dengan hambatan luar 19 ohm mengalirkan arus 0,75 A. Hitunglah GGL dan hambatan dalam baterai tersebut!

3.



Dari rangkaian di samping hitunglah:

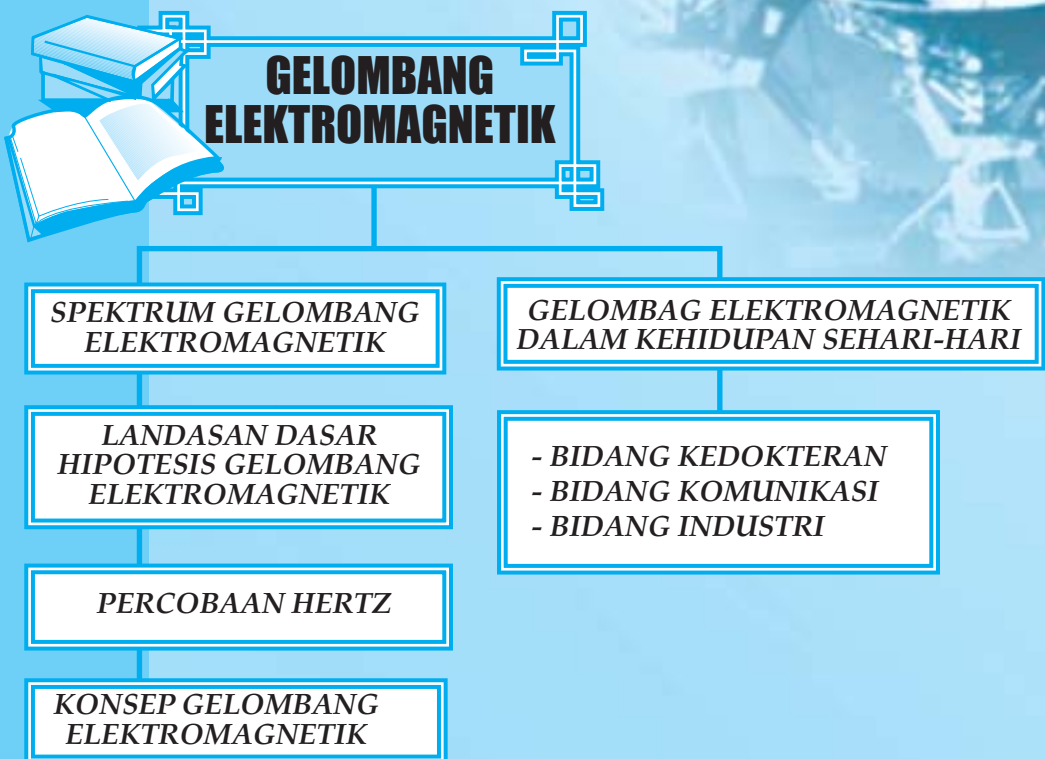
- a. hambatan pengganti antara A dan F
- b. kuat arus pada masing-masing hambatan!

4. Kompor listrik yang bertuliskan 500 W, 220 V digunakan untuk memanaskan 300 gram air dari 20°C sampai 100°C. Jika kalor jenis air = 1 kal/gr °C, maka berapa lama waktu yang diperlukan?
5. Sebuah alat ukur kuat arus listrik yang berhambatan 500 Ω hanya dapat dilalui arus 0,1 A. Agar alat tersebut dapat dilalui arus sebesar 0,6 A, berapakah besar hambatan yang harus dipasang paralel dengan alat tersebut?

# 6

## GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK

Setelah mempelajari materi "Gelombang Elektromagnetik" diharapkan Anda dapat menyusun deret gelombang elektromagnetik berdasarkan frekuensi atau panjang gelombang serta mengidentifikasi penggunaan gelombang elektromagnetik dalam kehidupan sehari-hari.



Gelombang bunyi, gelombang tali, gelombang permukaan air merupakan gelombang mekanik, karena dalam perambatannya memerlukan zat perantara. Cahaya termasuk dalam spektrum gelombang elektromagnetik, karena perambatan cahaya dapat terjadi tanpa zat perantara.

Bagaimana gelombang elektromagnetik terbentuk? Apa sajakah yang termasuk dalam spektrum gelombang elektromagnetik?

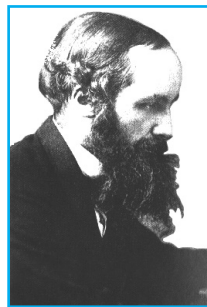
Perhatikan uraian di bawah ini.

## A. SPEKTRUM GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK

Ada tiga aturan penting yang mendasari munculnya konsep gelombang elektromagnetik.

- 1) Muatan listrik menghasilkan medan listrik di sekitarnya dengan kuat yang dilukiskan oleh hukum Coulomb.
- 2) Aliran muatan (arus) listrik menghasilkan medan magnet di sekitarnya dengan kuat yang dilukiskan oleh hukum Biot-savart.
- 3) Perubahan medan magnet menghasilkan medan listrik dengan aturan seperti dilukiskan oleh hukum induksi Faraday.

**James Clark Maxwell** (1831 – 1879) terdorong untuk melengkapi aturan-aturan tersebut di atas sebab ia yakin bahwa aturan-aturan alam ini mestinya sederhana dan rapi.



(Sumber: Admin Adjis)

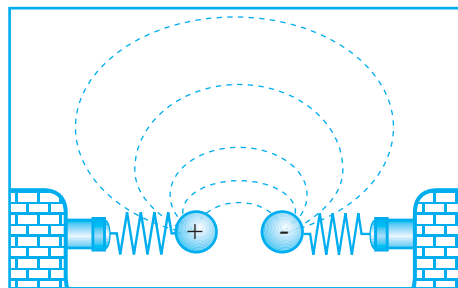
Gambar 6.1 James Clark Maxwell

Maxwell berpikir "Kalau perubahan medan magnet menghasilkan medan listrik, mengapa perubahan medan listrik tidak menghasilkan medan magnet?"

Menurut aturan Faraday, perubahan medan magnet  $B$  menghasilkan medan listrik  $E$  yang arahnya tegak lurus  $B$  dan besarnya bergantung pada laju perubahan  $B$  terhadap waktu.

Dengan aturan Faraday tersebut Maxwell meyakini perubahan medan listrik  $E$  akan menghasilkan medan magnet  $B$  yang tegak lurus  $E$  dan besarnya bergantung pada laju perubahan  $E$  terhadap waktu.

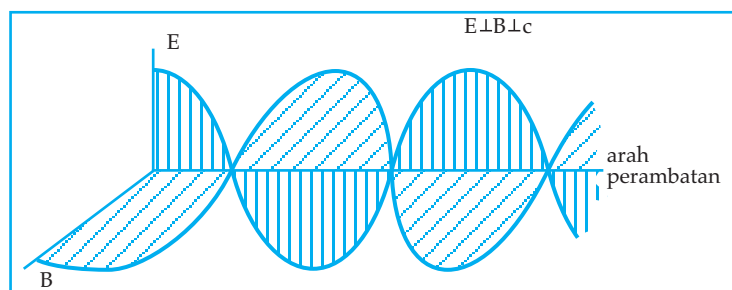
Keyakinan Maxwell ini dikemukakan pada tahun 1864 sebagai hipotesis karena tidak mudah untuk ditunjukkan dengan percobaan. Sebagai gambaran untuk membuktikan hipotesis Maxwell perhatikan uraian berikut.



Gambar 6.2

Gambar 6.2 menyatakan dua bola isolator yang satu diberi muatan positif dan yang lain muatan negatif. Kedua bola diikatkan pada pegas. Jika kedua bola digetarkan, maka jarak kedua muatan itu berubah-ubah terhadap waktu. Perubahan jarak kedua muatan menunjukkan perubahan medan listrik yang ditimbulkan. Dengan perubahan medan listrik ini, Maxwell meyakini akan terjadi medan magnet. Medan magnet yang terjadi akan mengalami perubahan terhadap waktu.

Kita tahu bahwa perubahan medan magnet dapat menimbulkan medan listrik. Perubahan-perubahan medan magnet dan medan listrik itu terjadi secara berkala dan berantai yang menjalar ke segala arah. Karena perubahan berkala yang menjalar lazimnya disebut dengan gelombang, maka gejala tersebut dapat dinamakan gelombang elektromagnetik. Penggambaran perambatan gelombang elektromagnetik seperti tampak pada gambar 6.3 berikut.



Gambar 6.3 Rambatan gelombang elektromagnetik

Dari gambar 6.3 terlihat besar medan listrik berubah-ubah (ditunjukkan oleh simpangan gelombang E) dan besar medan magnet juga berubah-ubah (ditunjukkan oleh simpangan gelombang B).

Berapakah kecepatan merambat gelombang elektromagnetik?

Maxwell ternyata tidak hanya meramalkan adanya gelombang elektromagnetik, tetapi ia juga mampu menghitung kecepatan merambat gelombang elektromagnetik.

Menurut perhitungan, kecepatan merambat (C) dari gelombang ini hanya bergantung pada dua besaran yaitu permitivitas listrik  $\epsilon_0$  dan permeabilitas magnet  $\mu_0$  menurut hubungan:

$$C = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ wb/Am}$$

Jika harga itu dimasukkan dalam persamaan di atas, diperoleh:

$$C = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Betapapun indahnya hipotesis Maxwell namun tetap tidak akan diterima sebelum ada eksperimen yang sanggup menguji kebenaran ramalan-ramalannya.

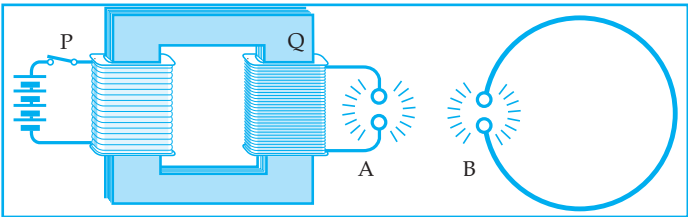
Setelah beberapa tahun Maxwell meninggal dunia, **Heinrich Rudolf Hertz** (1857 – 1894), seorang fisikawan Jerman, untuk pertama kali berhasil melakukan eksperimen yang dapat menunjukkan gejala perambatan gelombang elektromagnetik.



(Sumber: Admin Adjis)

Gambar 6.4 Heinrich Rudolf Hertz

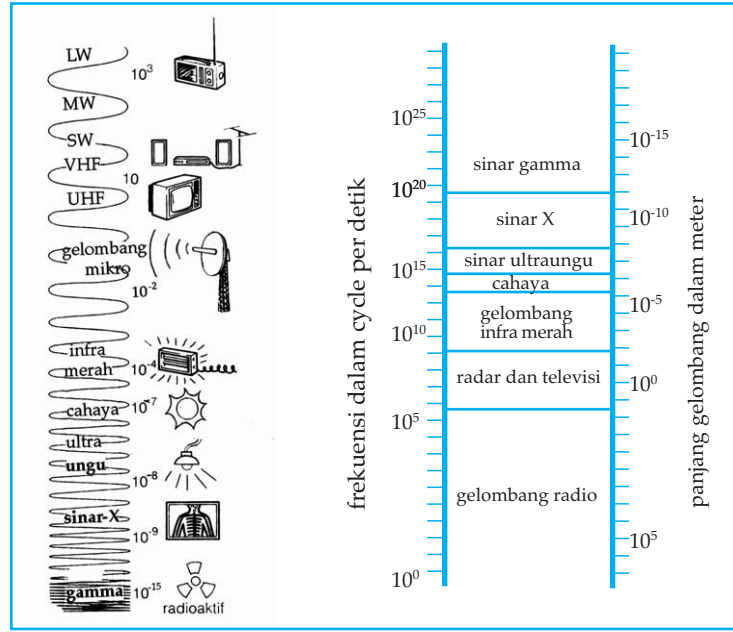
Dalam percobaannya, sebagai penghasil gelombang digunakan alat yang serupa dengan induktor Ruhmkoff. Perhatikan gambar 6.5 di bawah ini.



Gambar 6.5 Perambatan gelombang elektromagnetik

Jika P digetarkan, maka terjadi getaran pada rangkaian kawat Q yang nampak sebagai loncatan bunga api di A. Jika kawat B yang tidak bermuatan didekatkan dengan A ternyata di B terjadi juga loncatan bunga api. Ini menunjukkan bahwa ada pemindahan energi (perambatan) elektromagnetik dari A ke B.

Gelombang elektromagnetik adalah suatu bentuk energi, umumnya dihasilkan oleh elektron-elektron yang bergetaran. Gelombang elektromagnetik dipancarkan oleh benda alam, seperti matahari. Ada juga yang dapat dihasilkan oleh alat buatan manusia, misalnya gelombang radio. Yang membedakan gelombang-gelombang elektromagnetik adalah panjang gelombangnya. Gelombang elektromagnetik ini memiliki spektrum yang amat lebar dari  $\lambda = 10^8$  m sampai  $\lambda = 10^{-17}$  m, perhatikan gambar 6.6 di bawah ini.



(Sumber: Admin Adjis)

(a) (b)

Gambar 6.6 Spektrum gelombang elektromagnetik

Hubungan antara frekuensi ( $f$ ) dan panjang gelombang ( $\lambda$ ) dinyatakan dengan:

$$\lambda = \frac{C}{f}$$

$C$  = cepat rambat gelombang elektromagnetik di udara.

**Contoh soal 6.1**

1. Sebuah pemancar radio bekerja pada frekuensi 5 MHz. Berapakah panjang gelombang radio yang terpancar dari pemancar radio tersebut?

*Penyelesaian :*

Diketahui:  $f = 5 \text{ MHz} = 5 \cdot 10^6 \text{ Hz}$

Ditanya:  $\lambda = \dots?$

Jawab:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{di mana } C = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^6} = 100 \text{ m}$$

### Uji Pemahaman 6.1

**Kerjakan soal berikut!**

1. Sebutkan tiga aturan dasar yang melandasi pemikiran Maxwell sehingga ia mengemukakan hipotesis "Perubahan medan listrik dapat menimbulkan medan magnet"?
2. Mengapa nilai cepat rambat gelombang elektromagnetik di suatu medium selalu tetap?
3. Pemancar radio bekerja pada gelombang 50 meter. Berapakah frekuensi dari pemancar radio tersebut?

## B. GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK DALAM KEHIDUPAN

Dari gambar 6.6 (a), tampak adanya keterkaitan erat antara gelombang elektromagnetik dengan kehidupan sehari-hari. Perhatikan uraian di bawah ini.

### 1. Gelombang radio

Gelombang radio mempunyai panjang gelombang antara 30 m sampai 30.000 m.

Gelombang radio meliputi:

(LW = long wave), gelombang panjang

(MW = medium wave), gelombang menengah

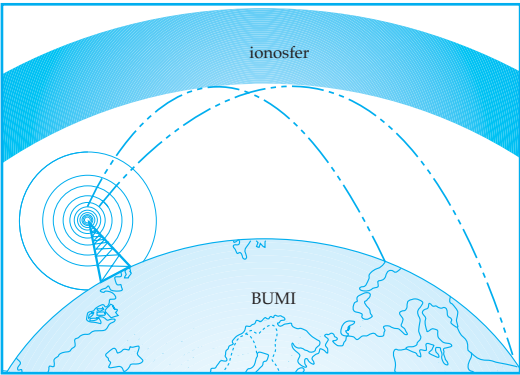
(SW = short wave), gelombang pendek

(VHF = very high frequency), gelombang frekuensi tinggi

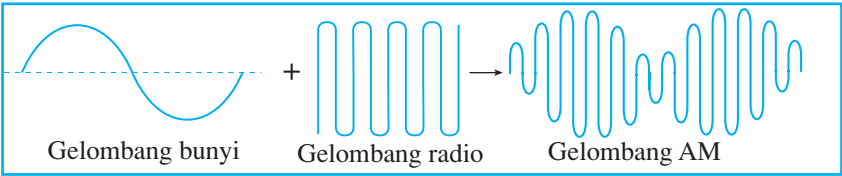
(UHF = ultra high frequency), gelombang frekuensi sangat tinggi

Gelombang radio digunakan untuk membawa isyarat bunyi dan isyarat gambar melalui jarak yang jauh.

Gelombang radio dapat dipantulkan oleh lapisan ionosfer yang ada di atmosfer dan cara membawa isyarat bunyi tersebut dengan mengadakan perubahan amplitudo atau AM (amplitudo modulation).

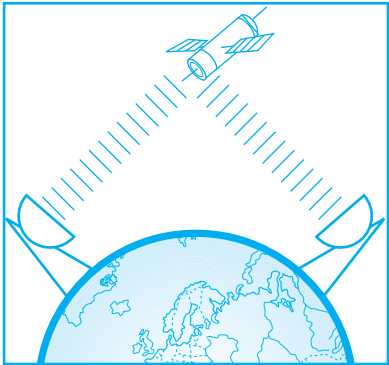


Gambar 6.7 Pantulan gelombang radio oleh ionosfer

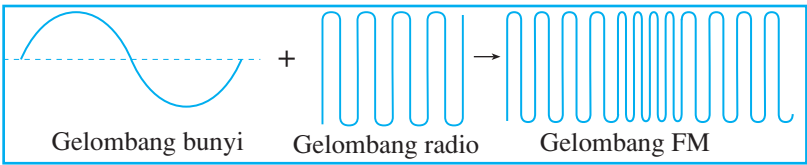


Gambar 6.8 Proses amplitudo modulation

Pada frekuensi yang lebih tinggi, sekitar  $10^8$  hertz, gelombang elektromagnetik dapat menembus lapisan ionosfer. Sebagai alat komunikasi diperlukan jasa satelit untuk menangkap gelombang itu dan memancarkannya lagi ke tempat-tempat yang lebih jauh. Misalnya, pada pesawat televisi dan pesawat radio FM menggunakan gelombang ini sebagai pembawa informasi dengan cara mengadakan perubahan frekuensi atau FM (frequency modulation).



Gambar 6.9 Pancaran gelombang mikro digunakan untuk menyalurkan gambar televisi atau percakapan telepon ke pelbagai penjuru dunia melalui satelit komunikasi.



Gambar 6.10 Proses frequency modulation



## 2. Gelombang TV

Gelombang TV mempunyai panjang gelombang sekitar 3 m. Gelombang TV tidak dipantulkan oleh lapisan ionosfer, sehingga dalam membawa isyarat informasi jarak jauh diperlukan satelit.

## 3. Gelombang mikro

Gelombang mikro adalah gelombang radio yang mempunyai panjang gelombang terpendek. Pancaran gelombang mikro yang diteruskan oleh satelit, digunakan untuk menyalurkan percakapan telepon atau gambar televisi ke pelbagai penjuru dunia. Dengan cara inilah kita di Indonesia dapat menyaksikan langsung pertandingan-pertandingan olahraga di luar negeri.

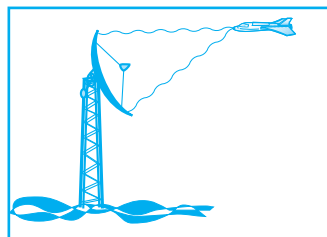
Gelombang mikro juga dapat menghasilkan panas. Hal ini dapat dilihat pada penggunaannya dalam oven gelombang mikro untuk memanaskan makanan dengan cepat.



(Sumber: Clip art)

Gambar 6.11 Stasiun Bumi merupakan penyalur telekomunikasi

Gelombang radar termasuk gelombang mikro yang dapat digunakan untuk mendeteksi jarak. Bagaimana formula jarak yang terdeteksi oleh gelombang radar? Perhatikan uraian di bawah ini.



Gambar 6.12 Pemancar radar

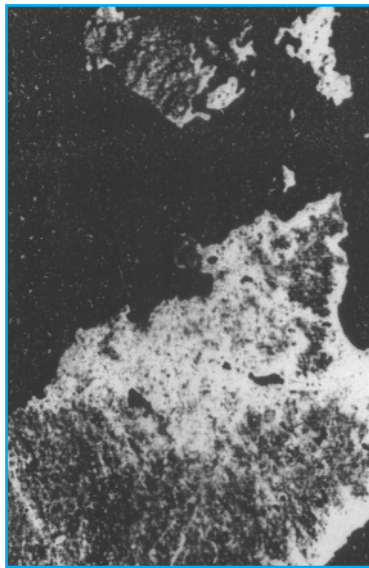
Gelombang radar yang ditangkap oleh pesawat radar setelah dipantulkan oleh pesawat udara menempuh jarak  $2s$  (bolak-balik). Jika cepat rambat gelombang radar di udara sama dengan  $c$ , maka

$$2s = c \cdot t$$

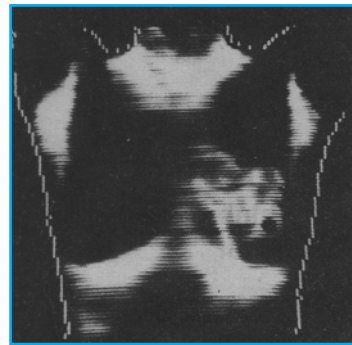
$$S = \frac{c \cdot t}{2}$$

#### 4. Sinar inframerah

Sinar inframerah dipancarkan oleh semua benda yang panas. Sinar inframerah dapat menembus kabut dan awan. Dengan film khusus untuk sinar inframerah, dapat dibuat potret dari benda yang tertutup oleh kabut.



Gambar 6.13(a)



Gambar 6.13(b)

(Sumber: Admin Adjis)

Potret inframerah yang diambil dari satelit Potret inframerah bagian dalam tubuh manusia

#### 5. Gelombang cahaya

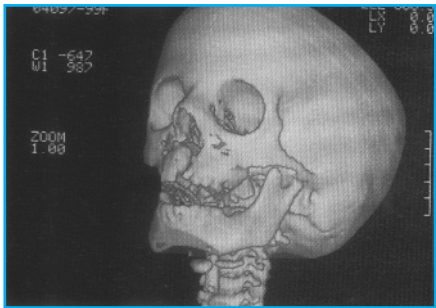
Jika suatu benda menjadi sangat panas, benda itu akan memancarkan cahaya. Cahaya ini adalah satu-satunya gelombang elektromagnetik yang dapat ditangkap oleh mata manusia.

#### 6. Sinar ultraviolet

Sinar ultraviolet terdapat dalam sinar matahari. Sinar ini tak tampak oleh mata tetapi dapat merusakkan retina mata. Bila kita terlalu lama kena sinar matahari, kulit kita lebih gelap karena radiasi sinar ultraungu.

7. Sinar X dan sinar gamma

Sinar-X dan sinar gamma mempunyai panjang gelombang terpendek di antara semua gelombang elektromagnetik. Gelombang-gelombang ini mempunyai daya tembus besar, baik melalui tubuh manusia maupun benda-benda pejal seperti timah hitam. Sinar-X digunakan untuk membuat foto *rontgen*.



(Sumber: Admin Adjis)

Gambar 6.14 Daya tembus sinar-X berguna untuk "melihat" bagian dalam benda tanpa perlu membukanya

Tabel berikut memuat beberapa penggunaan khusus dari gelombang elektromagnetik dan beberapa sumber gelombang tersebut. Tampaklah bahwa cahaya hanya merupakan bagian kecil dari spektrum elektromagnetik.

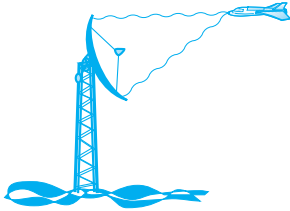
Tabel Spektrum elektromagnetik

Gelombang	Penggunaan	Sumber (buatan manusia)
Gelombang radio: LW MW SW VHF UHF gelombang mikro	radio  radio stereo televisi satelit komunikasi radar oven gelombang mikro	pemancar radio  pemancar TV  rangkaiian elektronik, yang di dalamnya elektron-elektron digetarkan
Inframerah	pemanas listrik	logam pijar (benda panas)
Cahaya tampak	penerangan listrik	benda pijar yang sangat panas
Ultraungu	lampu ultraungu	gas yang berpijar
Sinar-X	foto rontgen	tabung sinar-X
Sinar gamma	semacam foto rontgen dari benda-benda logam	bahan radioaktif

### Contoh soal 6.2

1. Pesawat radar digunakan untuk mendeteksi pesawat udara yang melaluinya. Ternyata pesawat radar dapat menangkap gelombang radarnya setelah dipantulkan oleh pesawat udara dalam waktu 0,1 sekon. Berapakah jarak pesawat radar dan pesawat udara saat itu?

Penyelesaian:



Diketahui:  $\Delta t = 0,1$  sekon

Ditanya:  $S = \dots?$

Jawab:

$$S = \frac{C \cdot \Delta t}{2} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 0,1}{2} = 1,5 \cdot 10^7 \text{ m}$$

### Uji Pemahaman 6.2

Kerjakan soal berikut!

1. Apakah yang dimaksud dengan *frequency modulation*?
2. Mengapa Indonesia sangat membutuhkan satelit untuk memperlancar arus komunikasi?
3. Pemancar radar sedang mendeteksi keberadaan pesawat udara yang berjarak 1500 m dari pesawat radar. Berapakah waktu yang diperlukan oleh pesawat radar untuk menangkap kembali gelombang radar setelah dipantulkan oleh pesawat udara tersebut?

## Rangkuman

- Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang terjadi karena adanya perubahan medan listrik menjadi medan magnet, perubahan medan magnet menjadi medan listrik secara berkala dan kontinu.
- Dalam perambatan gelombang elektromagnetik arah medan listrik  $E$  dan medan magnet  $B$  tegak lurus arah rambatnya.
- Cepat rambat gelombang elektromagnetik di udara :
$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$
- Percobaan Hertz dapat menunjukkan rambatan gelombang elektromagnetik
- Panjang gelombang spektrum gelombang elektromagnetik terbentang antara  $\lambda = 10^8 \text{ m}$  sampai  $10^{-17} \text{ m}$ .

## KATA KUNCI

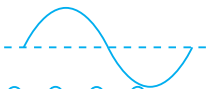
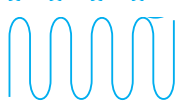

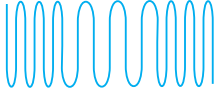
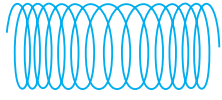
- gelombang elektromagnetik
- cepat rambat gelombang elektromagnetik
- permitivitas listrik
- permeabilitas magnet
- Maxwell
- Hertz
- spektrum



## UJI KOMPETENSI

### A. Pilih salah satu jawaban yang paling benar!

1. Di bawah ini yang merupakan kelompok gelombang elektromagnetik dengan urutan frekuensi makin besar adalah ....
  - a. gelombang radio, ultra-violet, dan inframerah
  - b. sinar gamma, sinar-X, dan ultraviolet
  - c. sinar merah, sinar kuning, sinar biru
  - d. radar, gelombang TV, dan gelombang radio
  - e. sinar-X, inframerah, dan gelombang radio
2. Gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang  $6 \times 10^{-17}$  m di udara merambat dengan kecepatan  $3 \times 10^8$  m/s. Gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang  $1,2 \times 10^{-6}$  m di udara merambat dengan kecepatan ....
  - a.  $1,5 \times 10^8$  m/s
  - b.  $6 \times 10^8$  m/s
  - c.  $9 \times 10^8$  m/s
  - d.  $3 \times 10^8$  m/s
  - e.  $3,6 \times 10^8$  m/s
3. Gelombang elektromagnetik yang dapat digunakan untuk mendeteksi jarak adalah ....
  - a. radar
  - b. gelombang radio
  - c. gelombang TV
  - d. inframerah
  - e. sinar-X
4. Gelombang elektromagnetik yang dapat digunakan untuk memotret bagian dalam tubuh manusia adalah ....
  - a. sinar-X
  - b. inframerah
  - c. cahaya tampak
  - d. sinar-X dan cahaya tampak
  - e. sinar-X dan inframerah
5. Gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang  $5000 \text{ \AA}$  merambat di udara. Frekuensi gelombang tersebut adalah ....
  - a.  $6 \times 10^{14}$  Hz
  - b.  $6 \times 10^{15}$  Hz
  - c.  $1,5 \times 10^{15}$  Hz
  - d.  $1,67 \times 10^{15}$  Hz
  - e.  $1,67 \times 10^{14}$  Hz

6. Sebuah pemancar radio bekerja pada frekuensi 6 MHz. Panjang gelombang dari gelombang radio yang terpancar adalah ....
  - a. 1,8 m
  - b. 3,6 m
  - c. 20 m
  - d. 50 m
  - e. 5000 m
7. Gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh unsur radioaktif adalah ....
  - a. gelombang mikro
  - b. sinar-X
  - c. laser
  - d. radar
  - e. sinar gamma
8. Pesawat radar sedang mendeteksi posisi sebuah pesawat terbang. 0,04 sekon setelah gelombang radar terpancar dan dipantulkan pesawat terbang, gelombang radar dapat ditangkap lagi oleh pesawat radar tersebut. Jarak pesawat radar dan pesawat udara adalah ....
  - a. 1200 m
  - b. 6000 m
  - c. 8000 m
  - d. 1200 km
  - e. 6000 km
9. Di bawah ini yang menggambarkan gelombang AM adalah ....
  - a. 
  - b. 
  - c. 
  - d. 
  - e. 
10. Yang dapat merusak kulit kita jika terkena oleh gelombang elektromagnetik melalui proses kimia adalah ....
  - a. sinar-X
  - b. inframerah
  - c. sinar gamma
  - d. cahaya tampak
  - e. ultraviolet

## B. Kerjakan soal-soal di bawah ini dengan benar!

1. Di antara ketiga aturan yang mendasari munculnya konsep gelombang elektromagnetik, aturan manakah yang paling kuat berpengaruh? Beri penjelasan!
2. Apakah yang terjadi jika kulit kita menyerap:
  - a. pancaran ultraviolet
  - b. pancaran ultraungu
3. Jenis pancaran sinar apakah yang:
  - a. dihasilkan oleh benda yang panas,
  - b. dapat ditangkap oleh mata,
  - c. dapat merusak retina!
4. Sebutkan kelebihan dan kekurangan dari pemancar radio yang menggunakan sistem AM dan FM!
5. Bagaimanakah hubungan panjang gelombang ( $\lambda$ ) dan frekuensi ( $f$ ) dalam perambatan gelombang elektromagnetik di udara? Buktikan!



## ULANGAN SEMESTER II

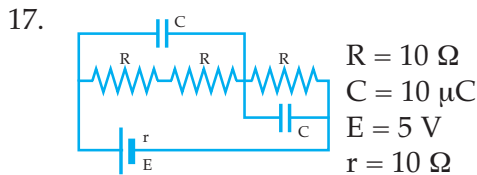
### A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar!

1. Titik dekat seorang presbiopi adalah 50 cm. Apabila ia hendak membaca buku yang diletakkan pada jarak 25 cm maka ia memerlukan kacamata yang berukuran ....
  - a. -2 dioptri
  - b.  $\frac{1}{2}$  dioptri
  - c.  $+\frac{1}{2}$  dioptri
  - d. + 2 dioptri
  - e. + 4 dioptri
2. Mata dapat melihat sebuah benda apabila terbentuk bayangan ....
  - a. sejati, tegak di retina
  - b. sejati, terbalik di retina
  - c. maya, tegak di retina
  - d. maya, terbalik di retina
  - e. maya, tegak di lensa mata
3. Seorang menggunakan lensa kacamata -2 dioptri ini berarti titik dekat mata orang tersebut ....
  - a. 25 cm
  - b. 200 cm
  - c. 50 cm
  - d. 400 cm
  - e. 100 cm
4. Sebuah mikroskop mempunyai panjang tubus 18 cm. Jarak titik api lensa objektif = 0,9 cm dan jarak titik api lensa okuler = 5 cm. Untuk benda yang terletak 1 cm dari lensa objektif diperoleh perbesaran linier ....
  - a. 35 kali
  - b. 60 kali
  - c. 45 kali
  - d. 50 kali
  - e. 11,25 kali
5. Seorang dapat melihat dengan jelas jika benda berada pada jarak 120 cm atau lebih. Agar dapat mengamati benda pada jarak 20 cm dari mata, orang tersebut harus memakai kacamata dengan lensa berjarak titik api ....
  - a. 24 cm
  - b. 17,14 cm
  - c. -24 cm
  - d. -17,14 cm
  - e. 18,24 cm
6. Agar dapat melihat secara normal, seorang harus menggunakan kacamata dengan lensa berkekuatan -0,125 dioptri. Hal ini menunjukkan bahwa ....
  - a. jarak titik dekat mata orang tersebut 8 meter
  - b. jarak titik dekat mata orang tersebut 12,5 meter
  - c. jarak titik jauh mata orang tersebut 12,5 meter
  - d. jarak titik jauh mata orang tersebut 8 meter
  - e. jarak titik dekat mata orang tersebut 20,5 meter
7. Sebuah lup digunakan untuk melihat benda kecil dengan berakomodasi maksimum oleh orang bermata normal dan dapat membentuk bayangan maya sampai 9 kali besar bendanya. Kekuatan lup tersebut adalah ....
  - a. 5,45 D
  - b. 3,125 D
  - c. 9 D
  - d. 32 D
  - e. 36 D

8. Naiknya raksa atau alkohol pada pipa kapiler suatu termometer memperlihatkan bahwa ....
  - a. raksa atau alkohol mengalami pemuaian panjang
  - b. pemuaian volum zat padat lebih cepat daripada zat cair
  - c. pemuaian zat cair lebih besar daripada zat padat
  - d. hanya raksa dan alkohol yang mengalami pemuaian volum
  - e. raksa atau alkohol mempunyai sifat Kapilaritas
9. Tepat pada saat skala reamur dan Fahrenheit menunjukkan angka yang sama, skala Celcius menunjukkan angka ....
  - a. 25,6
  - b. 24
  - c. 25,6
  - d. 32
  - e. 32,6
10. Batang kuningan pada suhu  $10^{\circ}\text{C}$  mempunyai panjang 2 m. Batang kuningan dipanasi sampai  $100^{\circ}\text{C}$ . Jika  $\alpha$  kuningan =  $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$  maka pertambahan panjangnya ....
  - a. 0,4 mm
  - b. 1,2 mm
  - c. 1,8 mm
  - d. 2 mm
  - e. 2,4 mm
11. 100 gram dari  $-5^{\circ}\text{C}$  dicampur dengan 200 gram air dari  $30^{\circ}\text{C}$  pada tekanan 1 atm. Kalor jenis es  $0,5 \text{ kal/gr}^{\circ}\text{C}$  dan kalor lebur es  $80 \text{ kal/gram}$ . Jika hanya terjadi pertukaran kalor antara air dan es maka pada akhir ....
  - a. suhu seluruhnya di atas  $100^{\circ}\text{C}$
  - b. suhu seluruhnya di bawah  $0^{\circ}\text{C}$
  - c. suhu seluruhnya  $0^{\circ}\text{C}$  dan semua es lebur
  - d. suhu seluruhnya  $0^{\circ}\text{C}$  dan semua air membeku
  - e. suhu seluruhnya  $0^{\circ}\text{C}$  dan sebagian es melebur
12. Kapasitas kalor suatu benda 5 J/K, artinya ....
  - a. untuk menaikkan suhu benda diperlukan kalor 5 joule
  - b. untuk menaikkan suhu benda 1 kelvin diperlukan kalor 5 joule
  - c. benda memiliki kalor 5 joule
  - d. benda hanya mampu menerima kalor 5 joule
  - e. jika benda bersentuhan dengan benda lain akan memberikan kalor 5 joule.
13. Sebuah benda pada suhu  $20^{\circ}\text{C}$  panjangnya 1 meter. Jika koefisien muai panjangnya  $5 \cdot 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$  maka panjang benda pada suhu  $50^{\circ}\text{C}$  adalah ....
  - a. 101,5 cm
  - b. 105,3 cm
  - c. 108 cm
  - d. 113,5 cm
  - e. 115,8 cm
14. Volum minyak pada suhu  $26^{\circ}\text{C}$  adalah 10 liter dan pada suhu  $46^{\circ}\text{C}$  menjadi 10,18 liter. Maka koefisien muai ruang minyak ....
  - a.  $0,0009/^{\circ}\text{C}$
  - b.  $0,0018/^{\circ}\text{C}$
  - c.  $0,18/^{\circ}\text{C}$
  - d.  $0,0028/^{\circ}\text{C}$
  - e.  $0,009/^{\circ}\text{C}$
15. Sebuah lampu pijar 100 W; 220 V; menyala pada tegangan 220 V selama 10 jam. Energi listrik yang digunakan lampu tersebut adalah .... KWh.
  - a. 1
  - b. 2
  - c. 10
  - d. 20
  - e. 22

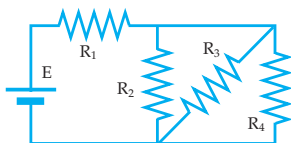


16. Tiga lampu dengan spesifikasi masing-masing 10 W/110 V, 20 W/110 V dan 60 W/110 V, dirangkai paralel pada tegangan 110 V, maka jumlah daya lampu itu adalah ....
- 90 watt
  - 60 watt
  - 20 watt
  - 10 watt
  - 6 watt



Maka nilai I adalah ....

- $\frac{2}{5}A$
  - $\frac{4}{5}A$
  - $\frac{5}{7}A$
  - $\frac{3}{8}A$
  - 0
18. Pada elemen volta, kutub positifnya terbuat dari keping ....
- seng
  - timbal
  - karbon
  - tembaga
  - timbal dioksida
19. Rangkaian seperti pada gambar  $R_1 = R_2 = R_4 = 2 \Omega$ ,  $R_3 = 3 \Omega$ . GGL baterai  $E = 6 V$  dan hambatan dalamnya 0,25. Arus pada  $R_3$  adalah ....



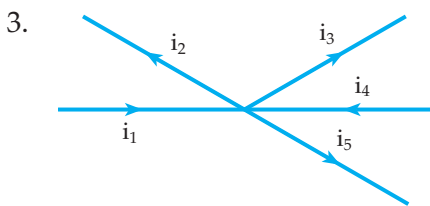
- 1,15 A
- 0,96 A
- 0,75 A
- 0,65 A
- 0,50 A

20. Sebuah keluarga menyewa listrik PLN sebesar 500 watt dengan tegangan 110 volt. Jika untuk penerangan keluarga itu menggunakan lampu 100 watt, 220 volt, maka jumlah lampu maksimum yang dapat dipasang ....
- 5 buah
  - 10 buah
  - 15 buah
  - 20 buah
  - 25 buah
21. Jika tegangan listrik di rumah mengalami penurunan 20% dari tegangan semula maka daya listrik pada alat-alat listrik di rumah mengalami ... dari semula.
- penurunan 36%
  - kenaikan 36%
  - penurunan 64%
  - kenaikan 64 %
  - penurunan 80%
22. Pada reaksi pemakaian aki timbul asam sulfat elektroda positif ( $PbO_2$ ) dan elektroda negatif (Pb) akan diubah menjadi ....
- $PbSO_4$
  - $PbO_2$
  - $PbSO_2$
  - $Pb^{2+}$
  - $H_2O$
23. Seberkas sinar X dengan panjang gelombang  $1.5\text{\AA}$  mempunyai frekuensi....
- 1.
  - 2
  - 3
  - 4
  - 5

24. Urutan spektrum gelombang elektromagnetik yang benar untuk variasi frekuensi besar ke frekuensi kecil adalah ....
- cahaya biru, hijau, sinar infra merah, gelombang radar
  - cahaya hijau, biru, sinar x, sinar gamma
  - sinar infra merah, sinar ultraviolet, cahaya hijau, biru
  - gelombang radar, cahaya hijau, biru, gelombang radio
  - sinar x, sinar gamma, cahaya biru, hijau
25. Perhatikan pernyataan berikut!
- di udara kecepatannya cenderung sebesar  $3 \times 10^8$  m/s
  - dapat merambat di ruang hampa
  - dapat mempengaruhi lempeng film
  - merupakan gelombang longitudinal
- Pernyataan yang merupakan sifat gelombang elektromagnetik adalah ...
- 1) dan 2)
  - 1), 2) dan 3)
  - 1) dan 4)
  - 2), 3), dan 4)
  - 3) dan 4)

### B. Jawablah soal-soal di bawah ini!

- Seorang bermata normal mengamati benda kecil menggunakan lup dengan mata berakomodasi maksimum. Ternyata perbesaran sudut yang diperolehnya 4 kali. Berapakah kekuatan lensa lup tersebut?
- Sebuah kubus yang panjang rusuknya 10 cm dan mempunyai emisivitas  $= 0,8$  dipanasi sampai bersuhu 500 K, berapa joule energi kalor yang terpancar dari keseluruhan bidang sisi kubus selama 10 menit?



Perhatikan percabangan rangkaian listrik di samping jika  $i_2 = i_3$ ;  $i_4 = 2i_2$ ;  $i_5 = 4i_3$  dan  $i_1 = 16$  mA. Hitung nilai  $i_2$ ,  $i_3$ ,  $i_4$  dan  $i_5$ !

- Tiga hambatan yang sama dirangkai seri dan dihubungkan dengan beda potensial tertentu, ternyata daya listrik yang timbul sebesar 10 watt. Jika ketiga hambatan itu kemudian dirangkai paralel dan dihubungkan dengan beda potensial yang sama maka berapa daya listrik yang timbul?
- Apakah manfaat sinar gamma di bidang kedokteran dan pertanian?

# GLOSARIUM

## A

- Akomodasi : kemampuan lensa mata untuk mencembung atau memipih  
Anomali air : sifat keanehan dari air pada suhu  $0^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $4^{\circ}\text{C}$

## C

- Cross product : hasil kali silang antara dua vektor

## D

- Deviasi : pembelokan arah rambat cahaya  
Dot product : hasil kali titik antara dua vektor

## E

- Efisiensi trafo : perbandingan daya sekunder dan daya primer  
Eter : zat yang diasumsikan sebagai medium perambatan gelombang elektromagnetik di hampa udara

## G

- Gaya gerak listrik : beda potensial sumber listrik selama tidak mengalirkan arus listrik  
Gaya sentripetal : gaya penggerak benda yang melakukan gerak melingkar yang arahnya menuju titik pusat lingkaran

## H

- Hambatan jenis : konstanta hambatan suatu penghantar

## I

- Indeks bias : nilai kerapatan medium secara optik

## K

- Kalor laten : kalor yang tersimpan yang digunakan untuk merubah wujud zat  
Kalori : satuan kalor

Koefisien pemuaian : suatu nilai konstanta dari setiap jenis zat yang memuai  
Koordinat polar : koordinat untuk menyatakan posisi dari titik partikel yang melakukan gerak melingkar

## M

Massa gravitasi : massa benda yang dapat dari hasil bagi gaya berat benda dan percepatan gravitasi

Massa kelembaman : massa benda yang didapat dari perbandingan gaya yang bekerja pada benda dan percepatan yang timbul pada benda

Medan penglihatan : daerah pandang mata

Medium : zat perantara rambatan gelombang

## N

Nonius : yaitu skala yang terletak pada rahang sorong pada jangka sorong

Notasi ilmiah : cara menyatakan angka-angka yang terlalu berdasar atau terlalu kecil dalam bentuk  $a \times 10^n$  di mana  $-10 < a < 10$  dan  $n$  = bilangan bulat

## P

Perbesaran sudut : perbandingan antara sudut lihat dengan alat dan sudut lihat tanpa alat

Percepatan sentripetal : percepatan pada gerak melingkar yang arahnya menuju pusat lingkaran

Polarisasi : timbulnya gelembung gas pada kutub positif sumber listrik

Punctum proksimum (pp) : jarak terdekat yang dapat terlihat jelas dengan mata berakomodasi maksimum

Punctum remotum (pr) : jarak terjauh yang dapat terlihat jelas dengan mata tanpa berakomodasi

## R

Radian : satuan sudut datar

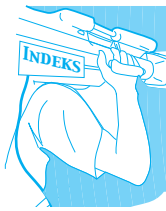
Resultan vektor : hasil jumlah dari beberapa vektor

## S

- Shortnormal (Sn) : jarak titik dekat normal  
Sifat termometrik : sifat-sifat benda yang berubah karena dipanaskan  
Skala putar : yaitu skala yang terletak pada selubung luar dari mikrometer sekrup

## T

- Tegangan jepit : beda potensial sumber listrik selama mengalirkan arus listrik  
Tegangan polarisasi : tegangan rugi sumber listrik  
Titik api : titik tempat berkumpulnya sinar-sinar sejajar setelah dikumpulkan  
Titik beku : suhu pada saat zat cair sedang membeku pada tekanan 1 atm  
Titik didih : suhu pada saat zat cair sedang mendidih pada tekanan 1 atm  
Tubus : jarak antara lensa objektif dan lensa okuler  
1 kalori = 4,18 joule  
1 radian = 57,32°



# INDEKS

## A

akomodasi, 78, 81, 84, 85, 86  
Alternatif Current (AC), 150  
amperemeter, 128, 129, 130, 131, 140, 141  
Amplitudo Modulation, 164, 165  
angka penting, 8, 9, 10  
appature, 80  
asas black, 101

## B

beda potensial, 128, 131, 133, 142, 147, 151, 152

## C

celcius, 94, 95, 96,  
cross product, 22

## D

diafragma, 80  
dinamika partikel, 53  
dioptri, 79, 89, 90  
Direct Current (DC), 149  
dot product, 22

## E

emetrop, 74

## F

fahrenheit, 94

film, 80

foto rontgen, 168

frekuensi, 41, 45, 50, 51

Frequensi Modulation, 164

## G

Gay-Lussac, 111

gaya berat, 57, 58, 63

gaya sentripetal, 42, 43, 44,

gaya, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24

gelombang elektromagnetik, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 168

gelombang mikro, 172, 173

gerak melingkar, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 49

gerak rotasi, 30

gerak translasi, 32

GGL, 135, 136, 137, 147, 151, 152

gravitasi, 48, 63

## H

hipotesa Maxwell, 167, 170

hukum Boyle, 111

hukum I kirchoff, 141

hukum II kirchoff, 147

hukum I Newton, 52, 54,

hukum II Newton, 43, 47, 54, 56

hukum III Newton, 57

hukum kelembaman, 54

## I

induktor Ruhmkoff, 170  
iris, 74  
ionosfer,  
isobarik, 110, 123  
isokhorik, 110, 123  
isolator, 101, 114, 116  
isotermis, 111

## J

jangka sorong, 4, 5, 6, 7, 11

## K

kalor, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104,  
114, 115, 116, 117, 118, 119, 120  
kalor beku, 103  
kalor embun, 103  
kalor sublim, 103  
kalor uap, 111  
kalori, 98, 111  
kalorimeter, 111  
kecepatan sudut, 42, 46, 54  
kelajuan linier, 41, 42, 43  
kelvin, 94, 95  
kereta dinamika, 33, 35  
kinematika partikel, 30  
komponen vektor, 20  
konduksi, 114, 115, 117, 119, 120  
konduktor, 114, 120  
konveksi, 114, 116, 117, 118, 119, 120,  
kornea, 78  
kuat arus, 128, 131, 133, 135, 140, 141,  
146, 152

## L

lambang dimensi, 14, 15  
lensa mata, 78  
lensa objektif, 82, 73, 84, 85, 86  
lensa okuler, 82, 83, 84, 85, 86  
long wave, 164

## M

medan magnet, 160, 161  
medan listrik, 160, 161  
medium wave, 164  
mikrometer sekrup, 7  
mikroskop, 78, 82  
miopi, 78  
mistar, 4, 5, 8, 11  
multiflier, 128  
musschenbroek, 107

## O

optik, 78

## P

paralel, 130, 142, 144, 147, 150  
percepatan sentripetal, 42, 43, 49  
percobaan Hertz,  
periode, 41, 42, 48, 50, 51  
permeabilitas magnet, 162  
permitivitas listrik, 162  
poligon gaya, 15, 16  
presbiopi, 79  
pupil, 78

## R

radar, 172, 173, 174, 176  
radian, 39, 40, 42, 44

radiasi, 114, 119, 120  
reamur, 94, 97, 98, 99  
rel presisi, 34, 35  
resultan, 16, 17, 18, 19, 20, 21  
retina, 78

## S

seri, 120, 141, 146, 147  
short wave, 164  
shunt, 132  
shutter, 80  
sifat termometrik, 94  
skala nonius, 6, 7  
speedometer, 32  
spektrum, 159, 163, 168

## T

tegangan jepit, 135, 136  
termometer, 94, 95, 96, 101  
teropong, 78, 84, 85, 86  
transformator, 128  
trolley, 53, 54, 55

## U

ultra high frequency, 164

## V

vektor, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24  
very high frequency, 164  
voltmeter, 128, 129, 130, 131



# DAFTAR PUSTAKA

- KURIKULUM BERBASIS KOMPETENSI, KOMPETENSI DASAR MATA PELAJARAN FISIKA UNTUK SMA.
- ALONSO - Finn, 1992, *Dasar-dasar Fisika Universitas Edisi kedua (terjemahan)*, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Alvin, H., 1998 ; *3000 Solved Problem in Physics*, New York : McGraw–Hill Book Company.
- Bueche, F.J 1991, *Teori dan Soal-soal Fisika (terjemahan)*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Halliday-Resnick, 1984, *Fisika Jilid 2 Edisi ketiga (terjemahan)*, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Sears, F.W-Zemarnsky, MW 1963, *Fisika untuk Universitas (terjemahan)*, Bandung: Penerbit Bina Cipta.
- Surya, Y, 1996, *Olimpiade Fisika, Edisi Pertama*, Jakarta: Penerbit PT. Primatika Cipta Ilmu.
- Fishbane, P.M., Et all, 1993, *Physics for Scientists and Engineers Extended Version*, New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- Hakim L. Malasan-Moh. Ma'mur Tanudidjaja, *Jagad Raya, Pelengkap Buku IPBA untuk SMU kelas 1, 2, 3*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, 1999. –
- Serway, R.A. dn Faughn, R. A. dan Faughn, J. S., 1999, *College Physics*, USA: Harcourt Brace College Publishers.
- Moh Ma'mur Tanudidjaja, *Ilmu Pengetahuan Bumi dan Antariksa untuk Sekolah Menengah Umum*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Standford, A. L. dan Tonner, J.M., 1985, *Physics for Students of Science and Engineering*, Orlando: Academic Press, Inc.
- Soendjojo Dridjo Soemarto, Drs. Mpd, dkk. *Materi pokok Pendidikan IPA 2, Modul U. T*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Proyek penataran guru SD setara D2, Jakarta 1990
- Wajong, P. Drs. dkk, *Bumi dan Antariksa 2 untuk SMP*, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, 1994.

## KUNCI JAWABAN

## BAB 1

## A.

1. C
  3. D
- $$F_R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \alpha$$
- $$1200 = 3F^2$$
- $$F = 20 \text{ N}$$

5. A

$$|\vec{a} \cdot \vec{b}| = a \cdot b \sin \alpha$$

$$= \frac{1}{4} b \cdot b \sin 30^\circ$$

$$= 0,125b^2$$

7. C

$$\frac{S \cdot u}{S \cdot P} = 3,5 \text{ m}$$

$$S \cdot P = 0,20 \text{ mm}$$

$$H \cdot U = 3,70 \text{ mm}$$

9. B

## B.

1. a. Karena perpindahan adalah perubahan posisi
- b. Tidak sama
- c. Jarak, panjang lintasan yang ditempuh perpindahan, dan perubahan posisi
3. a.  $F_{R\text{maks}} = F_1 + F_2 = 35 \text{ N}$
- b.  $F_{R\text{min}} = F_1 - F_2 = 5 \text{ N}$
- c.  $F_R = \sqrt{F_1^2 + F_1^2 + F_1F_2 \cos \alpha}$

$$F_R = \sqrt{400 + 225 + 300}$$

$$F_R = 30,41 \text{ N}$$

$$\frac{F_2}{\sin \beta} = \frac{F_R}{\sin \alpha}$$

$$\frac{1,5}{\sin \beta} = \frac{30,41}{\sin 60^\circ}$$

$$\sin \beta = 0,4272$$

$$\sin \beta = 25,29^\circ$$

5.  $\vec{a} \cdot \vec{b} = a \cdot b \cos \alpha$

$$40 = 80 \cos \alpha$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$|\vec{a} \cdot \vec{b}| = a \cdot b \sin \alpha$$

$$= 10 \cdot 8 \cdot \frac{1}{2} \sqrt{3}$$

$$= 40\sqrt{3} \text{ N}^2$$

## BAB 2

## A.

1. B
- $$S = 5 \times 36 = 180 \text{ m}$$

$$\vec{s} = 0$$

3. B

5. C

$$S = \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 20 = 40 \text{ m}$$

$$a = \frac{20 - 0}{4} = 5 \text{ m/s}^2$$

7. D

9. C

Syarat benda seimbang  $\Sigma F = 0$

11. B

$$a \sim \alpha$$

$$a \sim 1/m$$

13. E

15. C

$$h_A = h_B$$

$$V_{0A}t_A - \frac{1}{2}gt_A^2 = V_{0B}t_B - \frac{1}{2}gt_B^2$$

$$20(t_B + 2) - 5(t_B + 2)^2 = 50t_B - 5t_B^2$$

$$20 = t_B$$

$$t_B = 0,4 \text{ sekon}$$

## B.

1.  $v_{PQ} = v_P - v_Q$
- $$50 = v_P - 70$$
- $$v_P = 120 \text{ m/s}$$

3. Gerakan dari A ke B

$$v_t = v_o + at_1$$

$$40 = 0 + 2t_1$$

$$t_1 = 20 \text{ sekon}$$

$$S_{AB} = v_o t_1 + \frac{1}{2} at_1^2 = 400 \text{ m}$$

$$S_{BC} = S_{AC} - S_{AB} = 200 \text{ m}$$

Gerakan dari B ke C

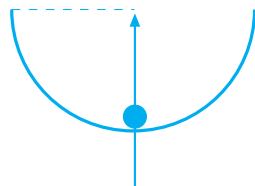
$$S_{BC} = V_2 \cdot t_2$$

$$200 = 40 \cdot t_2$$

$$t_2 = 5 \text{ sekon}$$

$$t = t_1 + t_2 = 25 \text{ sekon}$$

5.



$$F_s = \frac{mv^2}{R}$$

$$N - W = \frac{mv^2}{R}$$

$$0,6 - 0,2 = \frac{0,02 \cdot v^2}{0,2}$$

$$v^2 = \frac{0,08}{0,02} = 4$$

$$v = 2 \text{ m/s}$$

7.  $\Sigma F = m \cdot a$

$$F_1 + F_2 \cos \alpha = m \cdot a$$

$$2 + 0,5 = 2a$$

$$a = 1,25 \text{ m/s}^2$$

$$S = v_o t + \frac{1}{2} at^2$$

$$S = 0 + \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 100$$

$$S = 62,5 \text{ m}$$

9. a.  $v_{t_1}^2 = v_o^2 + 2ah_1$

$$v_{t_1}^2 = 6400 + 3600$$

$$v_{t_1} = 100 \text{ m/s}$$

$$v_{t_2} = v_{o_2} - gt_2 \Rightarrow v_{o_2} = v_{t_1}$$

$$0 = 100 = 10t_2$$

$$t_2 = 10 \text{ sekon}$$

b. 
$$h_2 = v_{o_2} - t_2 + \frac{1}{2} gt_2^2$$

$$h_2 = 1000 - 500$$

$$h_2 = 500 \text{ m}$$

$$h = h_1 + h_2 = 1500 \text{ m}$$

$$v_t = \sqrt{2gh} = \sqrt{30.000}$$

$$v_t = 173,2 \text{ m/s}$$

### BAB 3

#### A.

1. A

3. B

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{\infty} - \frac{1}{50} = \frac{1}{f}$$

$$f = -50 \text{ cm}$$

$$p = \frac{100}{f} = -2D$$

5. D

$$f_{ob} < s_{ob} < 2f_{ob}$$

7. A

$$s_{ok} < f_{ok}$$

9. B

#### B.

- 1.

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{25} \pm \frac{1}{50} = \frac{1}{f}$$

$$f = 50 \text{ cm}$$

$$p = \frac{100}{f} = 2D$$

- 3.

$$f = \frac{100}{p} = \frac{100}{20,5} \text{ cm}$$

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{5} = \frac{1}{20,5}$$

$$\frac{1}{s} = \frac{0,5}{100}$$

$$s = 200 \text{ cm}$$

5. a.
- $$f_{ob} = \frac{100}{P_{ob}} = \frac{100}{25} = 4 \text{ cm}$$
- $$f_{ok} = \frac{100}{P_{ok}} = \frac{100}{10} = 10 \text{ cm}$$
- lensa objektif
- $$\frac{1}{s_{ob}} + \frac{1}{s'_{ob}} = \frac{1}{f_{ob}}$$
- $$\frac{1}{6} + \frac{1}{s'_{ob}} = \frac{1}{4}$$
- $$s'_{ob} = 12 \text{ cm}$$
- lensa okuler
- $$s'_{ok} = -(50 - 5) = -45 \text{ cm}$$
- $$\frac{1}{s_{ok}} + \frac{1}{s'_{ok}} = \frac{1}{f_{ok}}$$
- $$\frac{1}{s_{ok}} - \frac{1}{45} = \frac{1}{10}$$
- $$s_{ok} = 8,18 \text{ cm}$$
- $$\gamma = \frac{s'_{ob}}{s_{ob}} \times \frac{s_n}{s_{ok}}$$
- $$\gamma = \frac{12}{6} \times \frac{40}{8,18} = 9,78 \text{ kali}$$
- b.
- $$d = s'_{ob} + s_{ok}$$
- $$d = 12 + 8,18$$
- $$d = 20,18 \text{ cm}$$

#### BAB 4

##### A.

1. A
3. A
5. E
7. E

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$\frac{P_1}{293} = \frac{2P_1}{T_2}$$

$$T_2 = 586 \text{ K}$$

$$T_2 = 313^\circ \text{ C}$$

9. C

$$H_1 = H_2$$

$$K_1 \frac{\Delta T_1}{L_1} = K_2 \frac{\Delta T_2}{L_2}$$

$$2K_2 \frac{90 \pm t}{L} = K_2 \frac{t \pm 0}{L}$$

$$180 - 2t = t$$

$$t = 60^\circ \text{ C}$$

##### B.

1.  $\Delta \ell = \ell_o \cdot \alpha \cdot \Delta t$   
 $\Delta \ell = 10 \cdot 11 \cdot 10^{-6} \cdot 10 = 11 \cdot 10^{-4} \text{ m}$   
 $x = \frac{1}{2} \Delta \ell = 5,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$   
 $x = 0,55 \text{ mm}$
3.  $\frac{v_1}{T_1} = \frac{v_2}{T_2}$   
 $\frac{40}{293} = \frac{v_2}{313}$   
 $v_2 = 42,73 \text{ cm}^3$   
 $\Delta v = v_2 - v_1 = 2,73 \text{ cm}^3$   
 $h = \frac{\Delta v}{A} = \frac{2,73}{20} = 0,1365 \text{ cm}$
5.  $\frac{v_1}{T_1} = \frac{v_2}{T_2}$   
 $\frac{0,5}{300} = \frac{v_2}{320}$   
 $v_2 = 0,53 \text{ liter}$   
 $\Delta v = v_2 - v_1 = 0,03 \text{ liter}$

#### BAB 5

##### A.

1. C
  3. C
  5. D
  7. D
- $$v_1 = v_2$$
- $$i_1 \cdot R_1 = i_2 \cdot R_2$$
- $$300 = 10 \cdot i_2$$
- $$i_2 = 30 \text{ mA}$$

9. B

$$\frac{1}{t} = \frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2}$$

$$\frac{1}{t} = \frac{1}{10} + \frac{1}{15} = \frac{5}{30}$$

$$t = 6 \text{ menit}$$

11. D

$$i = \frac{v}{R_V} = \frac{2}{2 \cdot 10^4} = 10^{-4} \text{ A}$$

$$R + R_V = \frac{E}{i}$$

$$R + 20.000 = \frac{12}{10^{-4}}$$

$$R = 100.000 \Omega = 100 \text{ k}\Omega$$

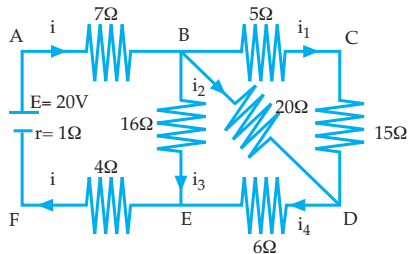
13. B

15. B

**B.**

1.  $Q = i \cdot t = 0,1 \times 1200 = 120 \text{ C}$

3.



a.

$$R_{s1} = 5 + 15 = 20 \Omega$$

$$\frac{1}{R_{p1}} = \frac{1}{20} + \frac{1}{20} = \frac{2}{20}$$

$$R_{p1} = 10 \Omega$$

$$R_{s2} = 10 + 6 = 16 \Omega$$

$$\frac{1}{R_{p2}} = \frac{1}{16} + \frac{1}{16} = \frac{2}{16}$$

$$R_{p2} = 8 \Omega$$

$$R_{AF} = 7 + 8 + 4 = 19 \Omega$$

b.

$$i = \frac{E}{R_{AF} + r} = \frac{20}{19 + 1} = 1 \text{ A}$$

$$v_{BE} = i \cdot R_{p2} = 8 \text{ volt}$$

$$i_3 = \frac{v_{BE}}{16} = \frac{8}{16} = 0,5 \text{ A}$$

$$i_4 = i - i_3 = 0,5 \text{ A}$$

$$v_{BD} = i_4 \cdot R_{p1} = 5 \text{ volt}$$

$$i_1 = \frac{v_{BD}}{R_{s1}} = \frac{5}{20} = 0,25 \text{ A}$$

$$i_2 = \frac{v_{BD}}{20} = \frac{5}{20} = 0,25 \text{ A}$$

5.  $i_2 = i - i_1$

$$i_2 = 0,6 - 0,1 = 0,5 \text{ A}$$

$$v_1 = v_2$$

$$i_1 \cdot R_1 = i_2 \cdot R_2$$

$$0,1 \cdot 500 = 0,5 \cdot R_2$$

$$R_2 = 100 \Omega$$

## BAB 6

**A.**

1. C
3. A
5. A

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{-7}}$$

$$f = 6 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

7. E
9. C

**B.**

1. Aturan Faraday "Perubahan medan magnet menimbulkan medan listrik"  
Sebab menurut Maxwell "Aturan alam sederhana dan teratur"
3. a. inframerah  
b. cahaya tampak  
c. ultraungu
5. a.  $\lambda \sim \frac{1}{f}$   
b.  $\lambda = \frac{c}{f}$



ISBN 978-979-068-802-5 (no. jilid lengkap)  
ISBN 978-979-068-804-9

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 22 Tahun 2007 tanggal 25 Juni 2007 Tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran Yang Memenuhi Syarat Kelayakan Untuk Digunakan Dalam Proses Pembelajaran.

Harga Eceran Tertinggi Rp10.021,--